



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 51 311 B3** 2005.06.30

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 51 311.6**

(22) Anmeldetag: **31.10.2003**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **30.06.2005**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **G01F 1/84**

**G01H 1/10, G01N 3/20, G01N 3/22**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:

**ABB Patent GmbH, 68526 Ladenburg, DE**

(72) Erfinder:

**Gebhardt, Jörg, Dr.-Ing., 55130 Mainz, DE;**  
**Kassubek, Frank, Dr., 79618 Rheinfelden, DE;**  
**Friedrichs, René, Dipl.-Phys., 68526 Ladenburg,**  
**DE; Waldi, Wolfgang, 69226 Nußloch, DE; Keller,**  
**Steffen, Dr, 76133 Karlsruhe, DE; Herwig, Jörg;**  
**Dipl.-Ing., 37139 Adelebsen, DE; Deppe, Lothar,**  
**37081 Göttingen, DE; Hug, Kuno, 69118**  
**Heidelberg, DE; Gasch, Armin, Dr., 67346 Speyer,**  
**DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 199 08 072 C2**

**DE 196 21 365 C2**

**DE 102 35 322 A1**

**DE 102 20 827 A1**

**DE 1 984 07 82C 28**

**US2002/01 17 010 A1**

**EP 08 49 568 B1**

**JP 2000-0 55 710**

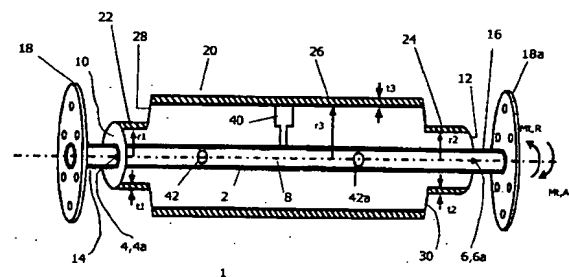
**DRAHM, W.: "Einrohrtechnik bei**  
**Coriolis-Massemes-**

**sern", atp 42, 7 (2000), S. 20;**

**atp-Automatisierungstechnik Praxis 40 (1998),**  
**S. 24-29;**

(54) Bezeichnung: **Coriolis-Massendurchflussmessgerät**

(57) Zusammenfassung: Coriolis-Massendurchflussmess-  
gerät mit einem in gekoppelten Biege- und Torsionsmoden  
schwingenden Messrohr (2), dadurch gekennzeichnet,  
dass ein bezüglich einer Rotationssymmetrieachse dreh-  
symmetrisch ausgebildetes, in Torsionsschwingungen glei-  
cher Frequenz, aber entgegengesetzter Phasenlage zu den  
Torsionsschwingungsmoden des Messrohres (2) versetz-  
bares Anbauteil (20) mechanisch mit dem Messrohr (2) ver-  
bunden ist und die Rotationssymmetrieachse des Anbau-  
teils parallel zu der durch die Mittelpunkte (4a, 6a) der  
Messstreckeneinlass- und Messstreckenauslassquer-  
schnittsflächen (4, 6) festgelegten Geraden (8) (Zen-  
tralachse) verläuft oder mit dieser zusammenfällt.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Coriolis-Massendurchflussmessgerät (CMD) mit einem in gekoppelten Biege- und Torsionsmoden schwingenden Messrohr, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

**[0002]** CMD regen das vom Fluid durchströmte Messrohr zu einer periodischen Bewegung – typischerweise zu Biegeschwingungen – an und messen die Kraftwirkung des Fluides auf die Rohrwand an mindestens zwei Stellen. Aus der Phasendifferenz der Messsignale an den Messstellen kann der Massendurchfluss ermittelt werden.

**[0003]** Die Kraftwirkung des Fluides auf die Rohrwand aufgrund der Strömung (dies ist der Coriolis-Effekt) ist aber verglichen mit anderen auftretenden Kräften sehr klein. Um den Messeffekt von Untergrund und Störungen unterscheiden zu können, bestehen daher hohe Anforderungen an das Gerät bezüglich Symmetrie des Aufbaus etc. Insbesondere aber muss der CMD schwingungstechnisch möglichst vollständig von seiner Umgebung (insbesondere der Rohrleitung, in der er eingebaut ist, und deren Eigenschaften man nicht beeinflussen kann) abgekoppelt sein. Eine solche Entkopplung wird auch als „Balancierung“ des CMD bezeichnet.

**Stand der Technik**

**[0004]** Im Stand der Technik wird eine Balancierung vielfach zu erreichen versucht, indem Doppelrohrkonstruktionen und/oder gebogene Messrohre verwendet werden. Diese können eine Balancierung über einen weiten Dichtebereich des Fluides erreichen. Prozesstechnisch sind einrohrige, ungebogene Messrohre allerdings vorzuziehen. Bei diesen gibt es drei typische Ansätze (vgl. für eine Übersicht den Artikel „Einrohrtechnik bei Coriolis-Massemessern – eine Standortbestimmung“, W. Drahm, atp 42, 7 (2000) S.20):

**– fester symmetrischer Einbau**

**[0005]** Durch spezielle Einbauvorschriften soll hier sichergestellt werden, dass der CMD wohldefiniert an die Umgebung koppelt. Die Geräte selbst haben eine grosse Masse. Nachteile sind erhöhte Einbaukosten, schwere Befestigungen und eine grosse Empfindlichkeit des Gerätes gegen äussere Einflüsse (z. B. geringe Nullpunktstabilität).

**– Biege-Gegenschwinger**

**[0006]** Die Vibration des Messrohres wird durch Anbringen eines Biege-Gegenschwingers kompensiert. Dieser schwingt gegenphasig zum Messrohr und eliminiert im Idealfall die Oszillationsbewegung des Schwerpunktes. Dann koppeln keine Kräfte am Rand

aus. Eine solche Kompensation funktioniert im Allgemeinen nur für eine Dichte des Fluides, bei anderen Dichten stimmen die Massenverhältnisse von Messrohr und Gegenschwinger nicht mehr und die Kopplung an die Umgebung steigt stark an. Dann sinkt auch die Messgenauigkeit.

**– Torsionsgegenschwinger**

**[0007]** Anstelle eines Biege-Gegenschwingers wird durch exzentrisches Anbringen von Massen die Biegeeigenschwingung an eine Torsionsschwingung des Rohres gekoppelt. Es wurde vorgeschlagen, dies durch das Anbringen einer Anzahl von Auslegermassen am Messrohr zu erreichen, deren Schwerpunkte in einer gemeinsamen, senkrecht zur Biegeschwingungsebene durch die Längsachse des Messrohres verlaufenden Ebene, jedoch im allgemeinen nicht auf dieser Längsachse liegen. Eine alternative Möglichkeit ist das Anbringen eines steifen exzentrischen Troges, wie in der US 2002/0117010A1 gezeigt. Da beide Schwingungsmoden (die Biege- und die Torsionsschwingungsmoden) in ähnlicher Weise von der Fluidmasse beeinflusst werden, zeigt sich, dass man Randkräfte, d.h. Biege- und Torsionskräfte – über einen großen Dichtebereich kompensieren kann. Der balancierte Teil des Messrohres wird im folgenden auch als Messstrecke bezeichnet. Die Messdaten sollen nur innerhalb der solcherart balancierten Messstrecke aufgenommen werden.

**[0008]** Die Balancierung wie vorgeschlagen erkaufte man allerdings damit, dass aufgrund der Torsionsschwingung symmetrische Drehmomente (Torsionsmomente) entlang der Rohrachse an den einlass- und auslassseitigen Enden des Messrohres angreifen.

**[0009]** Symmetrisch heisst dabei, dass die einlass- und auslassseitigen Torsionsmomente betragsmäßig gleich, aber entweder gleichsinnig oder gegensinnig orientiert sind. Über diese axialen Torsionsmomente findet weiterhin eine unerwünschte schwingungstechnische Kopplung an die Umgebung des MD statt.

**[0010]** Die DE 102 20 827 A1 zeigt einen Messwandler vom Vibrationstyp, mit einem Messrohr sowie einem Einlass- und Auslassrohrstück. Der Messwandler umfasst einen am Messrohr fixierten Torsionsschwingungstilger, der im Betrieb mit dem in Torsionsschwingungen schwingenden Messrohr mitschwingen kann. Das Mitschwingen ist allerdings nicht näher beschrieben. Offenbart ist nur, dass der Torsionsschwingungstilger mit wenigstens einer seiner Torsions-Resonanzfrequenzen möglichst genau auf die Torsions-Resonanzfrequenz des Messrohres abgestimmt ist. Die Offenbarung der DE 102 20 827 A1 zeigt als alleinige Ausführungsform einen Schwingungstilger, der einen ersten Drehkörper, welcher über eine erste Drehfeder mit dem Messrohr gekoppelt

pelt ist, sowie einen zweiten Drehkörper, welcher über eine zweite Drehfeder mit dem Messrohr gekoppelt ist. Umfasst. Beide Teil-Schwingungstilger können gekoppelt sein.

**[0011]** Wesentlich bei dem Gegenstand nach der DE 102 20 827 A1 ist offensichtlich, dass die schwingenden Massen der Schwingungstilger jeweils zwischen dem Kopplungspunkt der Drehfedern und dem Rohreinlass- bzw. Auslassende angeordnet sind.

**[0012]** Die DE 102 35 322 A1 zeigt einen Messwandler vom Vibrationstyp, mit einem Messrohr sowie einem Einlass- und Auslassrohrstück. Der Messwandler umfasst einen am Einlass- und am Auslassende fixierten Gegenschwinger von vorgebbarer Torsionseigenfrequenz. Die Offenbarung sagt, der Gegenschwinger sei torsionselastisch ausgeführt und mit wenigstens einer seiner Gegenschwinger-Torsionseigenfrequenzen möglichst genau auf die Messrohr-Torsionsschwingfrequenz abgestimmt. Über den Aufbau des Gegenschwingers ist lediglich offenbart, dass er ein Rohr sein könne, das am Messrohr einlass- und auslassseitig fixiert ist. An dem Messrohr sind weitere Ausgleichsmassen befestigt. Der Fachmann entnimmt der Offenbarung der DE 102 35 322 A1, dass das Gegenschwinger-Rohr als Ganzes in sich tordierbar ist, und lediglich die Massenverteilung längs des Rohres als Einflussparameter zur Verfügung steht.

**[0013]** Die JP 2000 55 710 zeigt ein Coriolis-Durchflussmessgerät mit einem Kompensations-Vibrator, der parallel zum Messrohr und einlass- und auslassseitig an diesem fixiert ist. Die Offenbarung der JP 2000 55 710 enthält keine Einzelheiten über den genauen Aufbau des Kompensations-Vibrators. Der Fachmann entnimmt der JP 2000 55 710 lediglich, dass der Kompensations-Vibrator als steifes Rohr mit homogener Wandstärke aufgebaut ist, das als ganzes in sich tordierbar ist. Es ist nicht offenbart, wie etwa die Torsionseigenfrequenz und Phase des Kompensations-Vibrators eingestellt werden können.

#### Aufgabenstellung

**[0014]** Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein gattungsgemäßes CMD so weiterzuentwickeln, dass auch axiale Torsionsmomente kompensiert sind.

**[0015]** Die Aufgabe wird gelöst durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 oder durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 46.

**[0016]** Erfindungsgemäß ist ein bezüglich einer Rotationssymmetrieachse dreh-symmetrisch ausgebildetes, in Torsionsschwingungen gleicher Frequenz, aber entgegengesetzter Phasenlage zu den Torsionsschwingungsmoden des Messrohres versetzba-

res Anbauteil mechanisch mit dem Messrohr verbunden. Die Rotationssymmetrieachse des Anbauteils verläuft parallel zu der durch die Mittelpunkte der Messstreckeneinlass- und Messstreckenauslassquerschnittsflächen festgelegten Geraden, die im folgenden kurz als Zentralachse bezeichnet wird, oder fällt mit dieser zusammen. Bei einem vollständig geraden Messrohr fällt die Zentralachse mit der Messrohrmittellinie und der Rotationssymmetrieachse des Messrohres zusammen.

**[0017]** Drehsymmetrisch bedeutet hier symmetrisch im Sinne einer sogenannten n-zähligen Drehsymmetrie. N ist dabei eine natürliche Zahl. Ein Körper weist dann eine n-zählige Drehsymmetrie auf, wenn bei Drehung um die Rotationssymmetrieachse um einen Winkel von  $360^\circ/n$  der Körper in sich selbst abgebildet wird. Beispielsweise besitzt ein längerestreckter Quader mit quadratischen Grundflächen eine 4-zählige Drehsymmetrie bezüglich einer parallel zur Längerestreckungsrichtung verlaufenden Zentralachse. Denn bei Drehung um jeweils  $90^\circ$  um diese Rotationssymmetrieachse wird der Quader in sich abgebildet. Ein längerestreckter Quader mit rechteckigen Stirnflächen hat eine 2-zählige Drehsymmetrie. Ein Voll- oder Hohlzylinder, beispielsweise ein Messrohr, mit homogener Massenverteilung hätte als Extremfall einer n-zähligen Drehsymmetrie eine „unendlich-zählige“ Drehsymmetrie, da jede Drehung um jeden beliebigen Winkel den Hohl- oder Vollzylinder in sich selbst abbildet. In diesem Fall spricht man auch von Rotationssymmetrie.

**[0018]** Das Anbauteil kann spiegelsymmetrisch bezüglich einer senkrecht zur Rotationssymmetrieachse orientierten und die Zentralachse in der Mitte der Messstrecke schneidenden Symmetrieebene sein. Spiegelsymmetrisch bedeutet, dass das Anbauteil bei Spiegelung an der Symmetrieebene in sich selbst übergeht.

**[0019]** Weiterhin sehr vorteilhaft ist eine Ausführungsform, bei der wenigstens ein weiterer Kompensationsteil zur Kompensation von Biege- und/oder Torsionskräften an dem Messrohr angebracht ist. Das können, wie oben beschrieben, exzentrische Massen, ein exzentrischer, steifer Trog oder andere an sich bekannte Kompensationsteile sein, mittels derer, wie oben beschrieben, die Biege- und Torsionskräfte des Messrohres im Bereich der Messstrecke kompensiert sind.

**[0020]** Der Teil des Messrohres, der durch das wenigstens eine Kompensationsteil in Bezug auf Biege- und/oder Torsionskräfte kompensiert ist, und der Teil, der durch das Anbauteil in Bezug auf das Torsionsmoment kompensiert ist, können deckungsgleich sein, oder einer der beiden Teile umfasst den anderen. Der jeweils größere der beiden Teile definiert die Messstrecke. Die Messstrecke ist derjenige Teil des

Messrohres, in dem dieses balanciert ist. Sie kann genauso lang sein wie das Messrohr selbst. Sie kann aber auch kürzer sein als das Messrohr, also nur einen Teilabschnitt des Messrohres umfassen.

**[0021]** In vorteilhafter Ausgestaltung ist das Anbauteil einlass- und auslassseitig mit dem Messrohr verbunden. Das Anbauteil kann an den einlass- und auslassseitigen Enden der Messstrecke oder innerhalb der Messstrecke mit dem Messrohr verbunden sein.

**[0022]** An den einlass- und auslassseitigen Messstreckenenden, können einlass- und auslassseitige Rohrverlängerungen angebracht sein, an denen dann die Flansche zur Einbindung des CMD in eine Prozessrohrleitung angebracht sind. Das Messrohr setzt sich dann aus der Messstrecke und den Rohrverlängerungen zusammen.

**[0023]** Die oben beschriebene Aufteilung des Messrohres in Messstrecke und Rohrverlängerungen ist dabei funktional zu verstehen. Gegenständlich gesehen, kann die Messstrecke mit den Rohrverlängerungen ein einziges Bauteil sein, oder es kann aus einer Mehrzahl von Teilstücken zusammengesetzt sein.

**[0024]** Der Vorteil der erfindungsgemäßen Anordnung liegt nun darin, dass die Torsionsmomente des Messrohres und des Anbauteils an den Verbindungsstellen zwischen dem Messrohr und dem Anbauteil genau kompensiert sind, wenn die Güte der Messrohrtorsionsschwingung und die Güte der Torsionsschwingung des Anbauteils identisch sind. Falls sich die Güten unterscheiden, so sind die Torsionsmomente des Messrohres und des Anbauteils an den Verbindungsstellen zwischen dem Messrohr und dem Anbauteil nahezu genau kompensiert.

**[0025]** Ein erfindungsgemäßes CMD ist somit nach außen hin, in den Bereichen außerhalb der Messstrecke, bezüglich der Torsionsmomente balanciert.

**[0026]** Wenn ein erfindungsgemäßes CMD hinsichtlich des Messrohres aufgebaut ist, wie bereits früher vorgeschlagen und oben unter dem Untertitel „Torsionsgegenschwinger“ beschrieben, so kann ein an den Endzonen der Messstrecke hinsichtlich aller auftretenden Biege- bzw. Torsionskräfte und -momente sehr gut balanciertes CMD aufgebaut werden.

**[0027]** Das Anbauteil kann dabei das Messrohr im Bereich der Messstrecke umhüllen, es kann aber auch außerhalb des Messrohres angeordnet sein. Wesentlich ist die Gleichheit der Torsionsschwingungsfrequenzen von Messrohr und Anbauteil.

**[0028]** Wenn das Anbauteil das Messrohr umhüllt, so ist, mit anderen Worten, im Wesentlichen eine Art inneres Traggehäuse an dem Messrohr des CMD angebracht, dessen Schwingungsmoden so abge-

stimmt sind, dass es eine Torsionsmode derselben Frequenz, aber entgegengesetzter Phasenlage wie die Torsionsmode des Messrohres besitzt. Die Rotationssymmetrieachse des Anbauteils fällt dann mit der Zentralachse des Messrohres zusammen. Das Innengehäuse und das eigentliche Messrohr schwingen gegenphasig, und die Torsionsmomente um die Rohrachse gleichen sich aus. Die wesentliche Bedingung, die für einen Ausgleich erforderlich ist, ist die Gleichheit der Frequenzen. Die Verbindung zwischen Messrohr und Anbauteil ist beispielsweise so realisierbar, dass das Anbauteil einlass- und auslassseitig am Messrohr angeschweißt ist.

**[0029]** Wenn das Anbauteil das Messrohr nicht umhüllt, so verläuft die Rotationsschwingungsachse des Anbauteils parallel in einem Abstand zur Zentralachse des Messrohres. Eine starre Verbindung zwischen dem Messrohr und dem Anbauteil kann dann beispielsweise durch Anschweißen je einer starren Platte einlass- und auslassseitig an dem Messrohr und Anschweißen des Anbauteils an den Platten realisiert sein.

**[0030]** Das Messrohr kann bei einem erfindungsgemäßen CMD auch in nahezu beliebiger Form gebogen sein. Es könnte beispielsweise U-förmig, V-förmig, oder S-förmig gebogen sein. Auch solcherart beliebig gebogene Messrohre koppeln, wenn sie zu gekoppelten Biege- und Torsionsschwingungen angelegt sind, an ihren Enden Torsionsmomente aus.

**[0031]** Bei einem gebogenen Messrohr fällt die Zentralachse nicht mehr auf der ganzen Messrohrlänge mit der Messrohrmittellinie und der Rotationssymmetrieachse des Messrohres zusammen. Auch bei einem gebogenen Messrohr verlaufen sowohl die Zentralachse als auch die Messrohrrotationssymmetrieachse durch die Mittelpunkte der Rohreinlass- und Rohrauslassquerschnittsflächen.

**[0032]** Das Anbauteil kann dabei wenigstens einen ersten, einlassseitigen, einen zweiten, auslassseitigen und einen dritten, mittleren Teilabschnitt umfassen, wobei jeder Teilabschnitt bezüglich der Rotationssymmetrieachse des Anbauteils drehsymmetrisch ausgebildet ist. Die Teilabschnitte sind vorteilhafterweise so ausgeführt, dass die einlass- und auslassseitigen Teilabschnitte im wesentlichen als Drehfedern und der mittlere Teilabschnitt im wesentlichen als träge Masse wirken.

**[0033]** Die Funktionsweise der Erfindung kann man sich durch Analogiebetrachtung mit einem System gekoppelter Feder-Masse-Schwinger veranschaulichen. Das Messrohr entspricht in einer solchen Analogiebetrachtung einer Masse, die über eine Feder an die Flansche gekoppelt ist. Die Flansche sind in der Analogiebetrachtung eine Masse. Ebenso kann das Anbauteil als eine Masse (der mittlere Teilabschnitt)

betrachtet werden, die über eine Feder (die ersten und zweiten Teilabschnitte) ebenfalls an die Flansche gekoppelt ist. Wird nun die das Messrohr darstellende Masse in Schwingungen versetzt, so werden durch die Federkopplung sowohl die die Flansche darstellende Masse als auch die das Anbauteil darstellende Masse zu Schwingungen angeregt. Es lässt sich durch Anwendung von dem Fachmann auf dem Gebiet der Mechanik bekannten Gesetzmäßigkeiten und Regeln zeigen, dass bei geeigneter Auslegung der die Schwingungseigenschaften des Anbauteils bestimmenden Parameter die Schwingungskopplung so erfolgt, dass das Anbauteil mit gleicher Frequenz und entgegengesetzter Phase zu dem Messrohr so schwingt, dass sich automatisch auch die Schwingungsamplituden von Anbauteil und Messrohr gegengleich so einstellen, dass die die Flansche darstellende Masse in Ruhe bleibt, also keine Kräfte und Momente auf die Flansche ausgeübt werden. Dann ist das System balanciert.

**[0034]** Die Schwingungseigenschaften des Anbauteils werden unter anderem von seinem Torsionsflächenmoment bezogen auf die Rotationssymmetrieachse bestimmt. Das Torsionsflächenmoment ist in der Mechanik eine bekannte Größe und beispielsweise beschrieben in Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, achtzehnte Auflage, Springer-Verlag Berlin, 1995, Seite C27–C29. Das Torsionsflächenmoment von dünnwandigen Hohlkörpern mit konstanter Wanddicke ist, wie dort beispielsweise in Tab. 7 auf S. C29 angegeben, proportional zum Produkt aus dem Quadrat der von der Querschnittsmittellinie eingeschlossenen Fläche mit der Wanddicke, geteilt durch den Umfang der Querschnittsmittellinie. Der Verdrehungswinkel ist umgekehrt proportional zum Torsionsflächenmoment.

**[0035]** In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist daher das Torsionsflächenmoment des mittleren Teilabschnitts des Anbauteils größer als die Torsionsflächenmomente der einlass- und auslassseitigen Teilabschnitte. Bei einer solchen Ausführungsform ist dann sichergestellt, dass die einlass- und auslassseitigen Teilabschnitte als Torsionsfedern wirken und der mittlere Teilabschnitt als Masse, die in sich wenig tordiert.

**[0036]** Weiterhin ist bei dem erfindungsgemäßen CMD die Frequenz und Phasenlage der Torsionsschwingungsmoden des Anbauteils durch das Verhältnis der Beträge der Torsionsflächenmomente des mittleren und der einlass- sowie auslassseitigen Teilabschnitte sowie durch die Lage der Übergänge zwischen dem mittleren und den einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitten einstellbar. Die Übergänge zwischen dem mittleren und den einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitten können dabei stufenförmig oder kontinuierlich erfolgen.

**[0037]** Wenn das Anbauteil das Messrohr nach Art eines Innengehäuses umhüllt, dann zeichnet sich ein solches erfindungsgemäßes Innengehäuse dadurch aus, dass es als ganzes nicht steif und nicht exzentrisch bezüglich der Zentralachse ist. Der mittlere Teilabschnitt kann zwar so ausgelegt werden, dass er steif ist, nicht aber die einlass- und auslassseitigen Teilabschnitte, welche ja wie bereits erwähnt die Funktion von Torsionsfedern ausüben.

**[0038]** Ferner müssen andere Schwingungsmoden, insbesondere Biegeschwingungsmoden, des Anbauteils – unabhängig davon, ob das Anbauteil das Messrohr umhüllt oder nicht – im Frequenzraum weit von der Anregungsfrequenz entfernt sein, um keine unerwünschten Kopplungen zu erzeugen, die den Balancierungeffekt verringern. Einstellbar sind Biegeschwingungsmoden beispielsweise über die Masse und Massenverteilung im Anbauteil. Insbesondere wenn das Anbauteil ein Hohlkörper ist, sind die Schwingungseigenschaften unter anderem durch den Betrag der Wandstärke einstellbar.

**[0039]** Eine sehr vorteilhafte Realisierung eines erfindungsgemäßen CMD sieht daher vor, dass die Teilabschnitte des Anbauteils Hohlkörper sind. Beispielsweise können die Teilabschnitte Hohlzylinder oder Hohlquader sein, dick- oder dünnwandig. Die Teilabschnitte sind untereinander dann durch nach anerkannten Regeln der Technik zu gestaltende Verbindungselemente, beispielsweise Platten, zu verbinden.

**[0040]** Bei der Wahl von Hohlzylindern als Teilabschnitte des Anbauteils weist das den mittleren Teilabschnitt bildende Zylinderrohrstück einen größeren Radius auf als die den ersten und zweiten Teilabschnitt bildenden. Die Frequenz und/oder Phasenlage des Anbauteils ist dann durch die Lage der Übergänge zwischen den mittleren und den einlass- bzw. auslassseitigen Zylinderrohrstücken und das Verhältnis des Radius des mittleren zu den Radien der einlass- bzw. auslassseitigen Zylinderrohrstücke einstellbar.

**[0041]** Ein erfindungsgemäßes Anbauteil kann in allgemeiner Weise auch so ausgestaltet sein, dass die einzelnen Teilabschnitte nicht an allen Stellen den gleichen Durchmesser und die gleiche Wandstärke haben, also beispielsweise auch konvex und/oder konkav geformte Oberflächenabschnitte umfassen. Es könnten auch die einzelnen Teilabschnitte wiederum aus Unterabschnitten zusammengesetzt und/oder zusammengesetzte Körper sein. Es ist allerdings darauf zu achten, dass die oben erfindungsgemäß beschriebenen Bedingungen hinsichtlich der Rotationssymmetrie des Anbauteils als Ganzes und der Torsionsschwingungseigenschaften des Anbauteils eingehalten sind.

**[0042]** Eine sehr vorteilhafte Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen CMD ist dadurch gekennzeichnet, dass die Erregeranordnung an dem Anbauteil angebracht ist. Es können auch die Sensoren zur Schwingungserfassung an dem Anbauteil angebracht sein.

**[0043]** Eine weitere sehr vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass an dem Anbauteil Justierelemente, beispielsweise veränderliche Massen, angebracht sind, mit denen nachträglich eine Trimmung der Schwingungseigenschaften des Anbauteils durchgeführt werden kann.

**[0044]** Erfindungsgemäß ist weiterhin ein CMD, bei dem wenigstens zwei bezüglich der Zentralachse achssymmetrisch ausgebildete, in Torsionsschwingungen gleicher Frequenz aber entgegengesetzter Phasenlage zu den Torsionsschwingungsmoden des Messrohres versetzbare Anbauteile mechanisch mit dem Messrohr verbunden sind.

**[0045]** Vorteilhafterweise sind an der einlass- bzw. auslassseitigen Messrohrzone je ein einlass- bzw. auslassseitiges Anbauteil in Form eines Kreisinges mittels radialer, längserstreckter Verbindungselemente an dem Messrohr angebracht. Die längserstreckten Verbindungselemente können Stäbe, Balken oder Rohre sein. Mit anderen Worten könnte man sagen, die Anbauteile sehen aus wie Speichenräder. Die Torsionsschwingungseigenschaften des einlass- bzw. auslassseitigen Anbauteils sind dann über die Dimensionierung der längserstreckten Verbindungselemente einstellbar.

**[0046]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Verbesserungen der Erfindung und weitere Vorteile sind den weiteren Unteransprüchen zu entnehmen.

**[0047]** Anhand der Zeichnungen, in denen dreizehn Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt sind, sollen die Erfindung sowie weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Verbesserungen der Erfindung sowie weitere Vorteile näher erläutert und beschrieben werden.

#### Ausführungsbeispiel

**[0048]** Es zeigen:

**[0049]** **Fig. 1** eine erste Ausführungsform der Erfindung, bei der das Anbauteil drei Rohrstücke umfasst,

**[0050]** **Fig. 2** eine zweite Ausführungsform der Erfindung, bei der das Anbauteil drei Hohlquader umfasst,

**[0051]** **Fig. 3** eine dritte Ausführungsform der Erfindung, bei der das Anbauteil ein achssymmetrischer Körper mit kontinuierlichen Übergängen zwischen

Zonen unterschiedlichen Querschnitts ist,

**[0052]** **Fig. 4** eine vierte Ausführungsform der Erfindung, bei der das Anbauteil zwei durch einen Zylindermantel verbundene, speichenradförmige Ringkörper umfasst,

**[0053]** **Fig. 5** eine fünfte Ausführungsform der Erfindung, bei der das Anbauteil zwei verbundene Scheiben und schwere Massen in der Mitte umfasst,

**[0054]** **Fig. 6** eine sechste Ausführungsform, bei der zwei speichenradförmige Anbauteile an dem Messrohr angebracht sind,

**[0055]** **Fig. 7** eine siebte Ausführungsform, bei der das Anbauteil vier an senkrecht zur Messrohrachse verlaufenden Platten gehaltene Hohlkörper umfasst,

**[0056]** **Fig. 8** eine achte Ausführungsform, bei der das Anbauteil zwei an senkrecht zur Messrohrachse verlaufenden Platten gehaltene Hohlkörper umfasst,

**[0057]** **Fig. 9** ein vereinfachtes Feder-Masse-Modell zur Veranschaulichung der Funktionsweise,

**[0058]** **Fig. 10** eine neunte Ausführungsform, bei der zwei Paare längserstreckter Elemente als Anbauteile an dem Messrohr angebracht sind,

**[0059]** **Fig. 11** eine zehnte Ausführungsform, bei der an dem Messrohr neben dem Anbauteil noch ein weiteres Kompensationsteil angebracht ist,

**[0060]** **Fig. 12** eine elfte Ausführungsform, bei der das Messrohr S-förmig gebogen ist,

**[0061]** **Fig. 13** eine zwölfte Ausführungsform, bei der an dem Messrohr neben dem Anbauteil ebenfalls ein weiteres Kompensationsteil angebracht ist, und

**[0062]** **Fig. 14** eine dreizehnte Ausführungsform, bei der an dem Messrohr vier exzentrische Massen als weitere Kompensationsteile angebracht sind.

**[0063]** **Fig. 1** zeigt ein Coriolis-Massendurchflussmessgerät **1** mit einem einzigen, geraden Messrohr **2**. Das Messrohr **2** ist aus einem Stück gefertigt, aber funktional in eine einlass- und eine auslassseitige Rohrverlängerung **14**, **16** und die dazwischenliegende Messstrecke, begrenzt von einer Messstrecken-einlassquerschnittsfläche **4** und einer Messstrecken-auslassquerschnittsfläche **6**, unterteilt. Durch deren Mittelpunkte **4a**, **6a** ist eine Zentralachse **8** des Messrohres **2** festgelegt. Die Zentralachse **8** fällt hier mit der Rotationssymmetrieachse des Messrohres **2** zusammen. An den Rohrverlängerungen **14**, **16** sind die Flansche **18**, **18a** zur Einbindung des Messgerätes **1** in ein Prozessrohrleitungssystem angebracht.

**[0064]** Mit dem Messrohr 2 ist ein Anbauteil 20 verbunden, welches das Messrohr 2 im Bereich der Messstrecke allseitig umgibt. Das Anbauteil 20 ist ein rotationssymmetrischer Hohlkörper, zusammengesetzt aus drei Hohlzylindern, die einen ersten, einlassseitigen, einen zweiten, auslassseitigen und einen dritten, mittleren Teilabschnitt 22, 24, 26 des Anbauteils 20 darstellen. Seine Rotationssymmetrieachse fällt mit der Zentralachse 8 des Messrohres 2 zusammen.

**[0065]** Die Verbindung zwischen dem mittleren Teilabschnitt 26 und dem einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitten 22, 24 ist an Übergangsstellen 28, 30 durch verschweißte Platten hergestellt. Die Innenradien  $r_1$ ,  $r_2$  der einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitte 22, 24 sind kleiner als der Innenradius  $r_3$  des mittleren Teilabschnitts 26. Die Wandstärke  $t_3$  des mittleren Teilabschnitts 26 ist dagegen größer als die Wandstärken  $t_1$ ,  $t_2$  der einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitte 22, 24.

**[0066]** Das Messrohr 2 kann, wie im Stand der Technik üblich, aus Metall, beispielsweise Titan, bestehen. Auch das Anbauteil 20 kann aus Metall bestehen. Es ist an den einlass- bzw. auslassseitigen Enden 10, 12 der Messstrecke an das Messrohr angeschweißt.

**[0067]** An der Innenwand des mittleren Teilabschnittszylinders 26 ist eine Erregeranordnung 40 angebracht, welche mit dem Messrohr 2 in Wirkverbindung steht und durch die das Messrohr 2 in gekoppelte Biege/Torsionsschwingungen versetzbar ist. Die Erregeranordnung kann beispielsweise, wie früher bereits vorgeschlagen, eine oder mehrere geeignet angeordnete, von Wechselstrom durchflossenen Spulen mit darin beweglich angeordneten, mit dem Messrohr verbundenen Ankern umfassen. Entsprechend der Wechselstromfrequenz werden der oder die Anker periodisch aus der Spule herausgeschoben und wieder in die Spule hineingezogen, wodurch dann das Messrohr 2 zu Biegeschwingungen angeregt wird. Indem an dem Messrohr 2, wie früher bereits vorgeschlagen, exzentrische Massen an bestimmten Stellen angebracht sind oder das Messrohr selbst eine inhomogene Massenverteilung aufweist, koppelt an die Biegeschwingung eine Torsionsschwingung, so dass insgesamt durch die Erregeranordnung 40 das Messrohr 2 in eine gekoppelte Biege- und Torsionsschwingung versetzt ist. Es kann, wie ebenfalls bereits vorgeschlagen, auch das Messrohr 2 durch die Erregeranordnung 40 zunächst zu Torsionsschwingungen angeregt werden, an die dann mittels exzentrischen Auslegermassen an oder inhomogener Massenverteilung in dem Messrohr 2 Biegeschwingungen ankoppeln, so dass wiederum durch die Erregeranordnung 40 das Messrohr 2 zu gekoppelten Biege- und Torsionsschwingungen angeregt ist.

**[0068]** Die Torsionsschwingungsmoden des Anbauteils 20 lässt sich hinsichtlich ihrer Frequenz und Phasenlage bezogen auf die Torsionsschwingungsmoden des Messrohres 2 einstellen durch eine geeignete Festlegung folgender Parameter: des Verhältnisses von  $r_3$  zu  $r_2$  bzw.  $r_3$  zu  $r_1$ , der Abstände der Übergangsstellen 28, 30 von den einlass- und auslassseitigen Enden der Messstrecke 10, 12 und der Wandstärken  $t_3$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ . Bei entsprechend geeigneter Wahl hat die Torsionsschwingungsmoden des Anbauteils 20 dann die gleiche Frequenz, aber entgegengesetzte Phase zur Torsionsschwingungsmoden des Messrohres, so dass dann das an den einlass- bzw. auslassseitigen Enden der Messstrecke 10, 12 auftretende Torsionsmoment des Messrohres  $M_{IR}$  entgegengesetzt gleich dem dort auftretenden Torsionsmoment  $M_{IA}$  des Anbauteils 20 ist. Beide Torsionsmomente kompensieren sich, das Messgerät 1 ist an den einlass- bzw. auslassseitigen Enden der Messstrecke 10, 12 sehr gut balanciert.

**[0069]** Durch eine geeignete Wahl des Massenverhältnisses der Masse des Anbauteils zur Masse des Messrohres lässt sich darüber hinaus erreichen, dass andere Schwingungsmoden des Anbauteils 20, insbesondere Biegeschwingungsmoden, im Frequenzraum weit von der Anregungsfrequenz entfernt sind und somit keine unerwünschten Kopplungen zu den Torsionsschwingungsmoden des Anbauteils 20 erzeugen.

**[0070]** Fig. 9 erläutert die Funktionsweise der Torsionsmomentenkompensation an einem Analogiebeispiel mit linear gekoppelten Feder-Masse-Systemen. Das Messrohr entspricht in einer solchen Analogiebetrachtung einer Masse  $M_R$ , die über eine Feder  $F_{RF}$  an die Flansche gekoppelt ist. Die Flansche sind in der Analogiebetrachtung eine Masse  $M_F$ , die über eine weitere Feder  $F_{FU}$  an die Umgebung, also die Prozessrohrleitung, in die das Messgerät eingebaut ist, ankoppeln.

**[0071]** In vereinfachter Darstellung kann das Anbauteil als eine Masse  $M_A$  (nämlich der mittlere Teilabschnitt 20) betrachtet werden, die über eine Feder  $F_{AF}$  (nämlich die ersten und zweiten Teilabschnitte) ebenfalls an die Flansche gekoppelt ist. Wird nun die das Messrohr darstellende Masse  $M_R$  in Schwingungen versetzt, so werden durch die Federkopplung über  $F_{RF}$  und  $F_{AF}$  sowohl die die Flansche darstellende Masse  $M_F$  als auch die das Anbauteil darstellende Masse  $M_A$  zu Schwingungen angeregt. Es lässt sich durch Anwendung von dem Fachmann auf dem Gebiet der Mechanik bekannten Gesetzmäßigkeiten und Regeln zeigen, dass bei geeigneter Auslegung der die Schwingungseigenschaften des Anbauteils bestimmenden Parameter die Schwingungskopplung so erfolgt, dass das Anbauteil mit gleicher Frequenz und entgegengesetzter Phase zu dem Messrohr so schwingt, dass sich automatisch auch die Schwin-

gungsamplituden von Anbauteil und Messrohr so einstellen, dass die die Flansche darstellende Masse  $M_F$  in Ruhe bleibt, also keine Kräfte und Momente auf die Flansche ausgeübt werden. Dann ist das System balanciert.

**[0072]** Am Messrohr 2 sind Sensoren 42, 42a zur Erfassung der Rohrschwingung angebracht.

**[0073]** Fig. 2 zeigt eine alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Massendurchflussmessgerätes 1a. Gleiche, ähnliche oder ähnlich wirkende Elemente oder Baugruppen des Beispiels nach Fig. 2 tragen die um 200 erhöhten Bezugsziffern wie in Fig. 1. Das Messrohr 202 ist zwischen den einlass- und auslassseitigen Enden 210, 212 der Messstrecke leicht gebogen. Ein leicht gebogenes Messrohr hat gegenüber einem vollständig geraden Messrohr den Vorteil, dass bei temperaturschwankungsbedingten Längenänderungen des Messrohres ein Längenausgleich zur Verringerung des Entstehens von Verspannungen im Messrohr möglich ist. Bei dem leicht gebogenen Messrohr 202 fallen die Messrohrmittellinie 209 und die durch die Mittelpunkte 204a, 206a der Rohreinlass- bzw. Rohrauslassquerschnittsflächen 204, 206 festgelegte Zentralachse 208 auseinander.

**[0074]** Mit dem Messrohr 202 ist ein Anbauteil 220 verbunden, so dass das Anbauteil 220 das Messrohr 202 im Bereich der Messstrecke allseitig umgibt. Das Anbauteil 220 ist ein 2-zählig drehsymmetrischer Hohlkörper, zusammengesetzt aus drei Hohlquadern, die einen ersten, einlassseitigen, einen zweiten, auslassseitigen und einen dritten, mittleren Teilabschnitt 222, 224, 226 des Anbauteils 220 darstellen. Seine Rotationssymmetrieachse fällt mit der Zentralachse 208 des Messrohres 202 zusammen.

**[0075]** Die Verbindung zwischen dem mittleren Teilabschnitt 226 und dem einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitten 222, 224 ist an Übergangsstellen 228, 230 durch verschweißte Platten hergestellt.

**[0076]** Die Torsionsmomentenkompensation erfolgt im übrigen analog zu dem in Fig. 1 beschriebenen Beispiel. Die einlass- und auslassseitigen Teilabschnitte 222, 224 wirken als Torsionsfedern mit rechteckförmigem Querschnitt, und der mittlere Teilabschnitt 226 wirkt als Masse mit rechteckförmigem Querschnitt. Aber abgesehen von der Querschnittsform sind die unter Fig. 1 beschriebenen Zusammenhänge auf das Beispiel nach Fig. 2 analog übertragbar.

**[0077]** An der Innenwand des Anbauteils 220 ist wiederum eine Erregeranordnung angebracht, aber hier aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Ebenso sind an dem Messrohr Sensoren zur Aufnahme der Schwingungssignale angebracht,

ebenfalls aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde hier auf eine Darstellung verzichtet. Erregeranordnung und Sensoren sind auf ähnliche Weise angebracht wie in Fig. 1 gezeigt.

**[0078]** Fig. 3 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Massendurchflussmessgerätes 301. Gleiche, ähnliche oder ähnlich wirkende Elemente oder Baugruppen des Beispiels nach Fig. 3 tragen die um 300 erhöhten Bezugsziffern wie in Fig. 1.

**[0079]** Fig. 3 zeigt ein Coriolis-Massendurchflussmessgerät 301 mit einem einzigen, geraden Messrohr 302. Das Messrohr 302 ist aus einem Stück gefertigt, aber funktional in eine einlass- und eine auslassseitige Rohrverlängerung 314, 316 und die dazwischenliegende Messstrecke, begrenzt von einer Messstreckeneinlassquerschnittsfläche 304 und einer Messstreckenauslassquerschnittsfläche 306, unterteilt. Durch deren Mittelpunkte 304a, 306a ist eine Zentralachse 308 des Messrohres 302 festgelegt. Die Zentralachse 308 fällt hier mit der Rotationssymmetrieachse des Messrohres 302 zusammen. An den Rohrverlängerungen 314, 316 sind die Flansche 318, 318a zur Einbindung des Messgerätes 301 in ein Prozessrohrleitungssystem angebracht.

**[0080]** Mit dem Messrohr 302 ist ein Anbauteil 320 verbunden, welches außerhalb des Messrohres 302 angeordnet ist. Das Anbauteil 320 ist ein rotations-symmetrischer Hohlkörper mit einem ersten, einlassseitigen, einem zweiten, auslassseitigen und einem dritten, mittleren Teilabschnitt 322, 324, 326. Seine Rotationssymmetrieachse 307 verläuft parallel zu der Zentralachse 308 des Messrohres 302, fällt aber nicht mit ihr zusammen sondern verläuft in einem Abstand zur Zentralachse 308 des Messrohres 302.

**[0081]** Das Anbauteil 320 besteht aus Metall und ist beispielsweise in Gusstechnik hergestellt. Zwischen dem mittleren Teilabschnitt 326 und den einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitten 322, 328 sind Übergangsteile 328, 330 mit angeformt. Die Oberfläche des Anbauteils 320 zeigt einen kontinuierlichen Übergang zwischen den drei Teilabschnitten mit entsprechend konkav und konvex geformten Übergangsstellen.

**[0082]** Eine starre Verbindung zwischen dem Messrohr 302 und dem Anbauteil 320 ist durch Anschweißen je einer starren Platte 311, 313 einlass- und auslassseitig an dem Messrohr 302 und Anschweißen des Anbauteils 320 an den Platten 311, 313 realisiert.

**[0083]** Die typischen mittleren Innenradien  $r_1$ ,  $r_2$  der einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitte 322, 324 sind kleiner als der typische mittlere Innenradius  $r_3$  des mittleren Teilabschnitts 326. Die Wandstärke  $t_3$  des mittleren Teilabschnitts 326 ist dagegen größer



als die Wandstärken  $t_1$ ,  $t_2$  der einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitte 322, 324.

[0084] Die Torsionsschwingungsmoden des Anbauteils 320 lässt sich hinsichtlich ihrer Frequenz und Phasenlage bezogen auf die Torsionsschwingungsmoden des Messrohres 302 einstellen durch eine geeignete Festlegung folgender Parameter: des Verhältnisses von  $r_3$  zu  $r_2$  bzw.  $r_3$  zu  $r_1$ , der Abstände der Übergangsstellen 328, 330 von den einlass- und auslassseitigen Enden der Messstrecke 310, 312 bzw. der Verbindungsplatten 311, 313 und der Wandstärken  $t_3$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ . Bei entsprechend geeigneter Wahl der Form hat die Torsionsschwingungsmoden des Anbauteils 320 dann die gleiche Frequenz, aber entgegengesetzte Phase zur Torsionsschwingungsmoden des Messrohres 302, so dass dann das an den einlass- bzw. auslassseitigen Enden der Messstrecke 310, 312 auftretende Torsionsmoment des Messrohres  $M_R$  entgegengesetzt gleich dem dort auftretenden Torsionsmoment des Anbauteils 20,  $M_A$  ist. Beide Torsionsmomente kompensieren sich, das Messgerät 301 ist an den einlass- bzw. auslassseitigen Enden der Messstrecke 310, 312 sehr gut balanciert.

[0085] Fig. 4 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Massendurchflussmessgerätes 401. Gleiche, ähnliche oder ähnlich wirkende Elemente oder Baugruppen des Beispiels nach Fig. 4 tragen die um 400 erhöhten Bezugsziffern wie in Fig. 1.

[0086] Fig. 4 zeigt ein Coriolis-Massendurchflussmessgerät 401 mit einem einzigen, geraden Messrohr 402. Das Messrohr 402 ist aus einem Stück gefertigt, aber funktional in eine einlass- und eine auslassseitige Rohrverlängerung 414, 416 und die dazwischenliegende Messstrecke, begrenzt von einer Messstreckeneinlassquerschnittsfläche 404 und einer Messstreckenauslassquerschnittsfläche 406, unterteilt. Durch deren Mittelpunkte 404a, 406a ist eine Zentralachse 408 des Messrohres 402 festgelegt. Die Zentralachse 408 fällt hier mit der Rotationssymmetrieachse des Messrohres 402 zusammen. An den Rohrverlängerungen 414, 416 sind die Flansche zur Einbindung des Messgerätes 401 in ein Prozessrohrleitungssystem anbringbar. Die Flansche sind in der Fig. 4 nicht dargestellt.

[0087] Mit dem Messrohr 402 ist ein Anbauteil 420 verbunden, so dass das Anbauteil 420 das Messrohr 402 im Bereich der Messstrecke allseitig umgibt. Das Anbauteil 420 ist ein rotationssymmetrischer Körper, zusammengesetzt aus drei Teilkörpern 422, 424, 426, die einen ersten, einlassseitigen, einen zweiten, auslassseitigen und einen dritten, mittleren Teilabschnitt des Anbauteils 420 darstellen. Seine Rotationssymmetrieachse fällt mit der Zentralachse 408 des Messrohres 402 zusammen.

[0088] Die einlassseitigen und auslassseitigen Teilabschnitte sind als je ein mittels radialer, längserstreckter Verbindungselemente 423 an dem Messrohr 402 angebrachter Kreisring 422 ausgebildet, und der mittlere Teilabschnitt ist hier ein steifer Hohlzylinder als Verbindungskörper 420. Insgesamt weisen die einlass- und auslassseitigen Teilabschnitte die Form eines Speichenrades auf, wobei die radialen längserstreckten Verbindungselemente die Speichen bilden. Durch geeignete Wahl der Dicke und Form der Speichen 423 lässt sich die Torsionseigenmode des Anbauteils 420 einstellen.

[0089] Die speichenradförmigen Teilabschnitte 422, 424 können beispielsweise durch Laserschneiden aus einer Vollscheibe hergestellt werden.

[0090] Hinsichtlich der Erregeranordnung und der Sensoren gilt das bei der Beschreibung der Fig. 2 gesagte entsprechend.

[0091] Fig. 5 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Massendurchflussmessgerätes 501. Gleiche, ähnliche oder ähnlich wirkende Elemente oder Baugruppen des Beispiels nach Fig. 5 tragen die um 500 erhöhten Bezugsziffern wie in Fig. 1.

[0092] In dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 5 sind die einlass- und auslassseitigen Teilabschnitte 522, 524 des Anbauteils 520 Scheiben. Der mittlere Teilabschnitt 526 ist als rotationssymmetrisch bezüglich der Zentralachse 508 des Messrohres 502 ausgebildeter Hohlzylinder ausgeführt. Dessen Wandstärke ist in seinem Mittelteil 527 aufgedickt, so dass dort eine im Vergleich zu den Randteilen 529, 529a höhere Masse und höhere Steifigkeit entstehen. Die Randteile 529, 529a sind dünnwandig ausgeführt, sie wirken als Torsionsfedern, während das Mittelteil 527 als Masse wirkt. Die Torsionsschwingungseigenschaften des Anbauteils 520 lassen sich hier durch Variation der Erstreckung der Randteile 529, 529 im Verhältnis zum Mittelteil 527 sowie durch den Betrag der Aufdickung des Mittelteils 527 und dessen Masse einstellen.

[0093] Hinsichtlich der Erregeranordnung und der Sensoren gilt das bei der Beschreibung der Fig. 2 gesagte entsprechend.

[0094] Fig. 6 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Massendurchflussmessgerätes 601. Gleiche, ähnliche oder ähnlich wirkende Elemente oder Baugruppen des Beispiels nach Fig. 6 tragen die um 600 erhöhten Bezugsziffern wie in Fig. 1.

[0095] Fig. 6 zeigt ein Coriolis-Massendurchflussmessgerät 601 mit einem einzigen, geraden Messrohr 602. Das Messrohr 602 ist aus einem Stück ge-

fertigt, aber funktional in eine einlass- und eine auslassseitige Rohrverlängerung **614**, **616** und die dazwischenliegende Messstrecke, begrenzt von einer Messstreckeneinlassquerschnittsfläche **604** und einer Messstreckenauslassquerschnittsfläche **606**, unterteilt. Durch deren Mittelpunkte **604a**, **606a** ist eine Zentralachse **608** des Messrohres **602** festgelegt. Die Zentralachse **608** fällt hier mit der Rotationssymmetrieachse des Messrohres **602** zusammen. An den Rohrverlängerungen **614**, **616** sind die Flansche **618**, **618a** zur Einbindung des Messgerätes **601** in ein Prozessrohrleitungssystem anbringbar. Die Flansche sind in der Fig. 6 nicht dargestellt.

**[0096]** Mit dem Messrohr **602** sind an den Enden der Messstrecke ein einlass- und ein auslassseitiges Anbauteil **625**, **627** verbunden, so dass jedes der Anbauteile **625**, **627** das Messrohr **602** allseitig umgibt. Bezüglich der senkrecht zur Zentralachse **608** orientierten Spiegelsymmetrieebene **650** des Messrohres **602** sind die beiden Anbauteile **625**, **627** spiegelsymmetrisch angeordnet. Jedes der beiden Anbauteile **625**, **627** ist sechszählig drehsymmetrisch, dessen Rotationssymmetrieachse mit der Zentralachse **608** des Messrohres **602** zusammenfällt. Sie sind als je ein mittels sechs radialer, längserstreckter Verbindungselemente **623** an dem Messrohr **602** angebrachter Kreisring ausgebildet. Insgesamt weisen die einlass- und auslassseitigen Anbauteile die Form eines Speichenrades mit sechs Speichen auf, wobei die radialen längserstreckten Verbindungselemente die Speichen bilden. Durch geeignete Wahl der Dicke der Speichen **623** lassen sich die Torsionseigenmoden der Anbauteile **625**, **627** einstellen und somit eine gute Balancierung des Messgerätes, wie oben beschrieben, erreichen.

**[0097]** Die speichenradförmigen Anbauteile **625**, **627** können beispielsweise durch Laserschneiden aus einer Vollscheibe hergestellt werden. Sie können auch aus Balken, Stäben oder Hohlkörpern gebildet sein.

**[0098]** Die wohl einfachste Realisierungsform eines erfindungsgemäßen Coriolis-Massendurchflussmessgerätes stellt die Variante nach Fig. 10 dar. Sie kann als weitere Vereinfachung der Variante nach Fig. 6 verstanden werden. Gleiche, ähnliche oder ähnlich wirkende Elemente oder Baugruppen des Beispiels nach Fig. 10 tragen die um 1000 erhöhten Bezugsziffern wie in Fig. 1.

**[0099]** In der Variante nach Fig. 10 sind die speichenradförmigen Anbauteile auf jeweils ein einlassseitig, am Messstreckenanfang, und ein auslassseitig, am Messstreckenende, an dem Messrohr **1002** angebrachtes Paar längserstreckter Elemente **1023/1023'**, **1023a/1023a'** reduziert. Jedes Paar längserstreckter Elemente **1023/1023'**, **1023a/1023a'** ist so angebracht, dass es eine 2-zählige Drehsym-

metrie bezüglich der Zentralachse **1008** aufweist. Bezüglich der senkrecht zur Zentralachse **1008** orientierten Spiegelsymmetrieebene **1050** des Messrohres **1002** sind die Paare längserstreckter Elemente **1023/1023'**, **1023a/1023a'** spiegelsymmetrisch angeordnet. Die Schwingungseigenschaften der Paare längserstreckter Elemente **1023/1023'**, **1023a/1023a'** sind durch Länge, Breite, Masse und Massenverteilung innerhalb der Längserstreckten Elemente einstellbar. So könnten beispielsweise an den freien Enden der längserstreckten Elemente **1023/1023'**, **1023a/1023a'** zusätzlich Justiermassen angebracht sein.

**[0100]** Die Befestigung der Paare längserstreckter Elemente **1023/1023'**, **1023a/1023a'** auf dem Messrohr **1002** erfolgt beispielsweise durch Schweißen oder Schrauben.

**[0101]** Fig. 7 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Massendurchflussmessgerätes **701**. Gleiche, ähnliche oder ähnlich wirkende Elemente oder Baugruppen des Beispiels nach Fig. 7 tragen die um 700 erhöhten Bezugsziffern wie in Fig. 1.

**[0102]** Fig. 7 zeigt ein Coriolis-Massendurchflussmessgerät **701** mit einem einzigen, geraden Messrohr **702**. Die Zentralachse **708** des Messrohres **702** fällt hier mit der Rotationssymmetrieachse des Messrohres **702** zusammen. An den einlass- und auslassseitigen Enden **710**, **712** des Messrohres **702** sind die Flansche **718**, **718a** zur Einbindung des Messgerätes **701** in ein Prozessrohrleitungssystem angebracht. Die Messstrecke erstreckt sich hier über die ganze Länge des Messrohres zwischen den Flanschen **718**, **718a**.

**[0103]** Mit dem Messrohr **702** ist ein bezüglich seiner Rotationssymmetrieachse 4-zählig drehsymmetrisches Anbauteil **720** verbunden, so dass das Anbauteil **720** das Messrohr und damit hier auch die Messstrecke **702** allseitig umgibt. Das Anbauteil **720** umfasst einen ersten, einlassseitigen, einen zweiten, auslassseitigen und einen dritten, mittleren Teilabschnitt **722**, **724**, **726**. Seine Rotationssymmetrieachse fällt mit der Zentralachse des Messrohres **702** zusammen.

**[0104]** Der erste, einlassseitige und der zweite, auslassseitige Teilabschnitt **722**, **724** sind durch dünnwandige Hohlzylinder gebildet. Der dritte, mittlere Teilabschnitt **726** ist ein mehrteilig zusammengesetzter Körper, der 4-zählig drehsymmetrisch zur Zentralachse **708** des Messrohres ausgeführt ist. Dieser ist wie ein Quader ausgebildet, mit in etwa quadratischen Stirnplatten **750**, **750a** und vier die Längskanten des Quaders bildenden, parallel zum Messrohr **702** verlaufenden, Verbindungselementen **752**, **754**, **756**, **758** in der Form ebenfalls quaderförmiger

Längsbalken. Die Stimplatten **750**, **750a** weisen zentrisch angeordnete Rundlöcher zur Durchführung des Messrohres auf. Einlass- und auslassseitig sind an den Stirnplatten **750**, **750a** die die ersten und zweiten Teilabschnitte bildenden Hohlzylinder **722**, **724** angeschweißt, sie könnten auch angelötet oder durch eine anderweitige Verbindungstechnik verbunden sein. Die quaderförmigen Längsbalken **752**, **754**, **756**, **758** sind an den Platten **750**, **750a** mechanisch befestigt, entweder geschweißt, gelötet oder verschraubt.

**[0105]** In der Mitte zwischen dem Einlass- und Auslassende und einlass- bzw. auslassseitig sind je zwei benachbarte Längsbalken **752**, **754**, **756**, **758** durch senkrecht zur Längserstreckungsrichtung der Längsbalken angeordnete quaderförmige Verbindungselemente verbunden, so dass jeweils eine rahmenartige Verstrebung **772**, **770**, **774** entsteht, die senkrecht zur Zentralachse des Messrohres orientiert ist.

**[0106]** An der mittleren Verstrebung **772** ist die Erregeranordnung befestigt, an den beiden einlass- und auslassseitigen Verstrebungen sind die Sensoren zur Aufnahme des Schwingungszustandes des Rohres angebracht.

**[0107]** Der Durchmesser der hohlzylindrischen ersten und zweiten Teilabschnitte **722**, **724** ist kleiner als die Kantenlänge der quadratischen Stirnplatten **750**, **752**. Die ersten und zweiten Teilabschnitte **722**, **724** fungieren als Torsionsfedern, der dritte Teilabschnitt **726** fungiert als Masse. Durch die rahmenartigen Verstrebungen **772**, **770**, **774** wird eine erhöhte Steifigkeit des dritten Teilkörpers bei geringem Gewicht erreicht.

**[0108]** Die Verbindungselemente **752**, **754**, **756**, **758** können auch als Profilschienen oder als Hohlprofilbalken ausgebildet sein.

**[0109]** An den einlassseitigen Ecken des mittleren Teilkörpers **726** sind zylinderrörmige Körper **760**, **762**, **764** als Justiermassen angeschraubt. Sie werden nach der Endmontage des Messgerätes angebracht und werden nach Gewicht und Abstand von dem mittleren Teilabschnitt **726** so ausgewählt, dass die Balancierung optimiert ist. Je nach Erfordernis können an allen acht Ecken Justiermassen angebracht sein, oder nur – wie in der **Fig. 7** gezeigt – an einigen der Ecken.

**[0110]** Die Torsionsschwingungseigenschaften des Anbauteils **720** können eingestellt werden durch die geometrischen Eigenschaften der ersten und zweiten Teilkörper **722**, **724** – nämlich deren Länge, Durchmesser und Wandstärke –, durch die geometrischen Eigenschaften des mittleren Teilkörpers – insbesondere durch dessen Länge und die Kantenlänge des Quaders – und durch die Massen der Verbindungselemente **752**, **754**, **756**, **758** sowie durch die zusätz-

lich angebrachten Justiermassen.

**[0111]** **Fig. 8** zeigt eine weitere alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Massendurchflussmessgerätes **801**. Gleiche, ähnliche oder ähnlich wirkende Elemente oder Baugruppen des Beispiels nach **Fig. 8** tragen die um 800 erhöhten Bezugsziffern wie in **Fig. 1**.

**[0112]** **Fig. 8** zeigt ein Coriolis-Massendurchflussmessgerät **801** mit einem einzigen, geraden Messrohr **802**. Die Zentralachse **808** des Messrohres **802** fällt hier mit der Rotationssymmetrieachse des Messrohres **802** zusammen. An den einlass- und auslassseitigen Enden **810**, **812** des Messrohres **802** sind die Flansche **818**, **818a** zur Einbindung des Messgerätes **801** in ein Prozessrohrleitungssystem angebracht. Die Messstrecke, also derjenige Bereich des Messrohres, indem die Wechselwirkung zwischen dem durch das Messrohr strömenden Medium und der Messrohrwand stattfindet, erstreckt sich hier über die ganze Länge des Messrohres zwischen den Flanschen **818**, **818a**.

**[0113]** Mit dem Messrohr **802** ist ein bezüglich seiner Rotationssymmetrieachse 2-zählig drehsymmetrisches Anbauteil **820** verbunden, so dass das Anbauteil **820** das Messrohr **802** allseitig umgibt. Das Anbauteil **820** umfasst einen ersten, einlassseitigen, einen zweiten, auslassseitigen und einen dritten, mittleren Teilabschnitt **822**, **824**, **826**. Seine Rotationsymmetrieachse fällt mit der Zentralachse des Messrohres **802** zusammen.

**[0114]** Der erste, einlassseitige und der zweite, auslassseitige Teilabschnitt **822**, **824** sind durch dünnwandige Hohlzylinder gebildet. Der dritte, mittlere Teilabschnitt **826** ist ein mehrteilig zusammengesetzter Körper, der 2-zählig drehsymmetrisch zur Zentralachse **808** des Messrohres ausgeführt ist.

**[0115]** Dieser ist wie ein Quader ausgebildet, mit in etwa rechteckigen Stirnplatten **850**, **850a** und zwei parallel zum Messrohr **802** verlaufenden Verbindungselementen **852**, **854** in der Form von längserstreckten Platten oder Hohlkörpern. Die Verbindungselemente **852**, **854** sind jeweils an den Schmalseiten der Stirnplatten **850**, **850a** mit diesen verschraubt. Ihre Höhe entspricht der Höhe der Stirnplatten **850**, **850a**. Insgesamt bilden die Stirnplatten **850**, **850a** zusammen mit den Verbindungselementen **852**, **854** einen rechteckförmigen Rahmen.

**[0116]** Die Stirnplatten **850**, **850a** weisen zentrisch angeordnete Rundlöcher zur Durchführung des Messrohres auf. Einlass- und auslassseitig sind an den Stirnplatten **850**, **850a** die die ersten und zweiten Teilabschnitte bildenden Hohlzylinder **822**, **824** angeschweißt, sie könnten auch angelötet sein.

**[0117]** Der Durchmesser der hohlzylindrischen ersten und zweiten Teilabschnitte **822**, **824** ist kleiner als die Kantenlänge der quadratischen Stirnplatten **850**, **852**. Die ersten und zweiten Teilabschnitte **822**, **824** fungieren als Torsionsfedern, der dritte Teilabschnitt **826** fungiert als Masse.

**[0118]** Die Torsionsschwingungseigenschaften des Anbauteils **820** können eingestellt werden durch die geometrischen Eigenschaften der ersten und zweiten Teilkörper **822**, **824** – nämlich deren Länge, Durchmesser und Wandstärke –, durch die geometrischen Eigenschaften des mittleren Teilkörpers – insbesondere durch dessen Länge und die Kantenlängen sowie das Verhältnis von Breite zu Höhe des Quaders – und durch die Massen der Verbindungselemente **752**, **754**.

**[0119]** Insgesamt weist die Ausführungsform nach Fig. 8 eine Ähnlichkeit mit der Ausführungsform nach Fig. 7 auf. Sie ist allerdings noch einfacher zu fertigen als jene. Insbesondere wenn die Verbindungselemente **852**, **854** als längserstreckte Hohlquader ausgeführt sind, kann das Anbauteil mit den für eine optimale Balancierung erforderlichen Schwingungseigenschaften und dennoch geringer Gesamtmasse aufgebaut werden.

**[0120]** Fig. 11 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Massendurchflussmessgerätes **1101**. Gleiche, ähnliche oder ähnlich wirkende Elemente oder Baugruppen des Beispiels nach Fig. 11 tragen die um **1100** erhöhten Bezugswerte wie in Fig. 1.

**[0121]** Fig. 11 zeigt ein Coriolis-Massendurchflussmessgerät **1101** mit einem einzigen, geraden Messrohr **1102**. Das Messrohr **1102** ist aus einem Stück gefertigt, aber funktional in eine einlass- und eine auslassseitige Rohrverlängerung **1114**, **1116** und die dazwischenliegende Messstrecke, begrenzt von einer Messstreckeneinlassquerschnittsfläche **1104** und einer Messstreckenauslassquerschnittsfläche **1106**, unterteilt. Durch deren Mittelpunkte **1104a**, **1106a** ist eine Zentralachse **1108** des Messrohres **1102** festgelegt. Die Zentralachse **1108** fällt hier mit der Rotationssymmetrieachse des Messrohres **1102** zusammen. An den Rohrverlängerungen **1114**, **1116** sind die Flansche **1118**, **1118a** zur Einbindung des Messgerätes **1101** in ein Prozessrohrleitungssystem angebracht.

**[0122]** Mit dem Messrohr **1102** ist ein Anbauteil **1120** verbunden, welches außerhalb des Messrohres **1102** angeordnet ist. Das Anbauteil **1120** ist ein rotationssymmetrischer Körper mit einem ersten, einlassseitigen, einem zweiten, auslassseitigen und einem dritten, mittleren Teilabschnitt **1122**, **1124**, **1126**. Seine Rotationssymmetrieachse **1107** verläuft parallel zu der Zentralachse **1108** des Messrohres **1102**, fällt

aber nicht mit ihr zusammen sondern verläuft in einem Abstand zur Zentralachse **1108** des Messrohres **1102**.

**[0123]** Das Anbauteil **1120** besteht aus Metall und ist beispielsweise in Gusstechnik hergestellt. Zwischen dem mittleren Teilabschnitt **1126** und den einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitten **1122**, **1128** sind Übergangsteile **1128**, **1130** mit angeformt. Die Oberfläche des Anbauteils **1120** zeigt einen kontinuierlichen Übergang zwischen den drei Teilabschnitten mit entsprechend konkav und konvex geformten Übergangsstellen, wobei der mittlere Teilabschnitt **1126** konvex ausgebildet ist.

**[0124]** Eine starre Verbindung zwischen dem Messrohr **1102** und dem Anbauteil **1120** ist durch Anschweißen je einer starren Platte **1111**, **1113** einlass- und auslassseitig an dem Messrohr **1102** und Anschweißen des Anbauteils **1120** an den Platten **1111**, **1113** realisiert. Die Verbindungsstellen **1110a**, **1112a** des Anbauteils **1120** mit dem Messrohr **1102** liegen innerhalb der Messstrecke.

**[0125]** An dem Messrohr **1102** ist ein weiterer Kompensationsteil **1180** zur Kompensation von Biege- und/oder Torsionskräften angebracht. Das Kompensationsteil ist als exzentrischer Trog ausgebildet und mit dem Messrohr **1102** an den Ein- und Ausgang **1110**, **1112** der Messstrecke befestigt, beispielsweise durch Schweißen oder Schrauben.

**[0126]** Der der Anordnung nach Fig. 11 zugrundeliegende Gedanke ist, dass der Teil des Messrohres, der durch das wenigstens eine Kompensationsteil in Bezug auf Biege- und/oder Torsionskräfte kompensiert ist, und der Teil, der durch das Anbauteil in Bezug auf das Torsionsmoment kompensiert ist, deckungsgleich sein können, oder einer der beiden Teile umfasst den anderen. Der jeweils größere der beiden Teile definiert die Messstrecke. Im Fall der Fig. 11 definiert der Teil, der durch das Kompensationsteil kompensiert ist, die Messstrecke.

**[0127]** Fig. 13 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Massendurchflussmessgerätes **1301**. Gleiche, ähnliche oder ähnlich wirkende Elemente oder Baugruppen des Beispiels nach Fig. 13 tragen die um **1300** erhöhten Bezugswerte wie in Fig. 1.

**[0128]** Fig. 13 zeigt ein Coriolis-Massendurchflussmessgerät **1301** mit einem einzigen, geraden Messrohr **1302**. Das Messrohr **1302** ist aus einem Stück gefertigt, aber funktional in eine einlass- und eine auslassseitige Rohrverlängerung **1314**, **1316** und die dazwischenliegende Messstrecke, begrenzt von einer Messstreckeneinlassquerschnittsfläche **1304** und einer Messstreckenauslassquerschnittsfläche **1306**, unterteilt. Durch deren Mittelpunkte **1304a**,

**13066a** ist eine Zentralachse **1308** des Messrohres **1302** festgelegt. Die Zentralachse **1308** fällt hier mit der Rotationssymmetrieachse des Messrohres **1302** zusammen. An den Rohrverlängerungen **1314**, **1316** sind die Flansche **1318**, **1318a** zur Einbindung des Messgerätes **1301** in ein Prozessrohrleitungssystem angebracht.

[0129] Mit dem Messrohr **1302** ist ein Anbauteil **1320** verbunden, welches das Messrohr **1302** im Bereich der Messstrecke allseitig umgibt. Das Anbauteil **1320** ist ein rotationssymmetrischer Hohlkörper, zusammengesetzt aus drei Hohlzylindern, die einen ersten, einlassseitigen, einen zweiten, auslassseitigen und einen dritten, mittleren Teilabschnitt **1322**, **1324**, **1326** des Anbauteils **1320** darstellen. Seine Rotationssymmetrieachse fällt mit der Zentralachse **1308** des Messrohres **1302** zusammen.

[0130] Die Verbindung zwischen dem mittleren Teilabschnitt **1326** und dem einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitten **1322**, **1324** ist an Übergangsstellen **1328**, **1330** durch verschweißte Platten hergestellt. Die Innenradien  $r_1$ ,  $r_2$  der einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitte **1322**, **1324** sind kleiner als der Innenradius  $r_3$  des mittleren Teilabschnitts **1326**. Die Wandstärke  $t_3$  des mittleren Teilabschnitts **1326** ist dagegen größer als die Wandstärken  $t_1$ ,  $t_2$  der einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitte **1322**, **1324**.

[0131] Das Messrohr **1302** kann, wie im Stand der Technik üblich, aus Metall, beispielsweise Titan, bestehen. Auch das Anbauteil **1320** kann aus Metall bestehen. Es ist an den einlass- bzw. auslassseitigen Enden **1310**, **1312** der Messstrecke an das Messrohr angeschweißt.

[0132] An dem Messrohr **1302** ist ein weiteres Kompensationsteil **1380** zur Kompensation von Biege- und/oder Torsionskräften angebracht. Das Kompensationsteil ist als Rohr ausgebildet und mit dem Messrohr **1302** an Verbindungsstellen **1310a** und **1310b** befestigt, beispielsweise durch Schweißen oder Schrauben. Die Verbindungsstellen **1310a**, **1312a** des Kompensationsteils **1380** mit dem Messrohr **1302** liegen damit innerhalb der Messstrecke.

[0133] Der der Anordnung nach **Fig. 13** zugrundeliegende Gedanke ist, dass der Teil des Messrohres, der durch das wenigstens eine Kompensationsteil in Bezug auf Biege- und/oder Torsionskräfte kompensiert ist, und der Teil, der durch das Anbauteil in Bezug auf das Torsionsmoment kompensiert ist, deckungsgleich sein können, oder einer der beiden Teile umfasst den anderen. Der jeweils größere der beiden Teile definiert die Messstrecke. Im Fall der **Fig. 13** definiert der Teil, der durch das Anbauteil kompensiert ist, die Messstrecke.

[0134] Eine weitere Ausführungsmöglichkeit hierzu zeigt **Fig. 14** in dem erfindungsgemäßen Massendurchflussmessgerät **1401**. Gleiche, ähnliche oder ähnlich wirkende Elemente oder Baugruppen des Beispiels nach **Fig. 14** tragen die um 1400 erhöhten Bezugsziffern wie in **Fig. 1**.

[0135] **Fig. 14** zeigt ein Coriolis-Massendurchflussmessgerät **1401** mit einem einzigen, geraden Messrohr **1402**. Das Messrohr **1402** ist aus einem Stück gefertigt, aber funktional in eine einlass- und eine auslassseitige Rohrverlängerung **1414**, **1416** und die dazwischenliegende Messstrecke, begrenzt von einer Messstreckeneinlassquerschnittsfläche **1404** und einer Messstreckenauslassquerschnittsfläche **1406**, unterteilt. Durch deren Mittelpunkte **1404a**, **1406a** ist eine Zentralachse **1408** des Messrohres **1402** festgelegt. Die Zentralachse **1408** fällt hier mit der Rotationssymmetrieachse des Messrohres **1402** zusammen. An den Rohrverlängerungen **1414**, **1416** sind die Flansche **1418**, **1418a** zur Einbindung des Messgerätes **1401** in ein Prozessrohrleitungssystem angebracht.

[0136] Mit dem Messrohr **1402** ist ein Anbauteil **1420** verbunden, welches das Messrohr **1402** im Bereich der Messstrecke allseitig umgibt. Das Anbauteil **1420** ist ein rotationssymmetrischer Hohlkörper, zusammengesetzt aus drei Hohlzylindern, die einen ersten, einlassseitigen, einen zweiten, auslassseitigen und einen dritten, mittleren Teilabschnitt **1422**, **1424**, **1426** des Anbauteils **1420** darstellen. Seine Rotationssymmetrieachse fällt mit der Zentralachse **1408** des Messrohres **1402** zusammen.

[0137] Die Verbindung zwischen dem mittleren Teilabschnitt **1426** und dem einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitten **1422**, **1424** ist an Übergangsstellen **1428**, **1430** durch verschweißte Platten hergestellt. Die Innenradien  $r_1$ ,  $r_2$  der einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitte **1422**, **1424** sind kleiner als der Innenradius  $r_3$  des mittleren Teilabschnitts **1426**. Die Wandstärke  $t_3$  des mittleren Teilabschnitts **1426** ist dagegen größer als die Wandstärken  $t_1$ ,  $t_2$  der einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitte **1422**, **1424**.

[0138] Das Messrohr **1402** kann, wie im Stand der Technik üblich, aus Metall, beispielsweise Titan, bestehen. Auch das Anbauteil **1420** kann aus Metall bestehen. Es ist an den einlass- bzw. auslassseitigen Enden **1410**, **1412** der Messstrecke an das Messrohr angeschweißt.

[0139] An dem Messrohr **1402** sind als weitere Kompensationsteile vier Platten **1480a**, **1480b**, **1480c**, **1480d** exzentrisch bezogen auf die Zentralachse **1408** an dem Messrohr angebracht. Sie bewirken auf eine früher bereits vorgeschlagene Art die Kompensation von Biege- und/oder Torsionskräften

an dem Messrohr 1402. Die Platten 1480a, b, c, d sind so angeordnet, dass sie innerhalb der Messstrecke und innerhalb des mittleren Teilabschnitts 1426 des Anbauteils 1420 liegen.

[0140] **Fig. 12** zeigt eine weitere alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Massendurchflussmessgerätes 1201. Gleiche, ähnliche oder ähnlich wirkende Elemente oder Baugruppen des Beispiels nach **Fig. 12** tragen die um 1200 erhöhten Bezugswerte wie in **Fig. 1**.

[0141] **Fig. 12** zeigt ein Coriolis-Massendurchflussmessgerät 1201 mit einem in etwa doppel-S-förmig gebogenen Messrohr 1202. Das Messrohr 1202 ist aus einem Stück gefertigt, aber funktional in eine einlass- und eine auslassseitige Rohrverlängerung 1214, 1216 und die dazwischenliegende Messstrecke, begrenzt von einer Messstreckeneinlassquerschnittsfläche 1204 und einer Messstreckenauslassquerschnittsfläche 1206, unterteilt. Durch deren Mittelpunkte 1204a, 1206a ist eine Zentralachse 1208 des Messrohres 1202 festgelegt. An den Rohrverlängerungen 1214, 1216 sind die Flansche 1218, 1218a zur Einbindung des Messgerätes 1201 in ein Prozessrohrleitungssystem angebracht.

[0142] Mit dem Messrohr 1202 ist ein Anbauteil 1220 verbunden, welches das Messrohr 1202 im Bereich der Messstrecke allseitig umgibt. Das Anbauteil 1220 ist ein rotationssymmetrischer Hohlkörper, zusammengesetzt aus drei Hohlzylindern, die einen ersten, einlassseitigen, einen zweiten, auslassseitigen und einen dritten, mittleren Teilabschnitt 1222, 1224, 1226 des Anbauteils 1220 darstellen. Seine Rotationssymmetrieachse fällt mit der Zentralachse 1208 des Messrohres 1202 zusammen.

[0143] Die Verbindung zwischen dem mittleren Teilabschnitt 1226 und dem einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitten 1222, 1224 ist an Übergangsstellen 1228, 1230 durch verschweißte Platten hergestellt. Die Innenradien  $r_1$ ,  $r_2$  der einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitte 1222, 1224 sind kleiner als der Innenradius  $r_3$  des mittleren Teilabschnitts 1226. Die Wandstärke  $t_3$  des mittleren Teilabschnitts 1226 ist dagegen größer als die Wandstärken  $t_1$ ,  $t_2$  der einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitte 1222, 1224.

[0144] Das Messrohr 1202 kann, wie im Stand der Technik üblich, aus Metall, beispielsweise Titan, bestehen. Auch das Anbauteil 1220 kann aus Metall bestehen. Es ist an den einlass- bzw. auslassseitigen Enden 1210, 1212 der Messstrecke an das Messrohr angeschweißt.

[0145] Die Ausführungsform nach **Fig. 12** ist ein Beispiel dafür, dass die Kompensation der Torsionsmomente mittels eines erfindungsgemäßen Anbau-

teils auch bei komplex gebogenen Messrohren möglich ist. Das Messrohr könnte selbstverständlich auch U-förmig, V-förmig oder auch spiralförmig gebogen sein.

[0146] Die in den **Fig. 1** bis **Fig. 14** gezeigten Ausführungsbeispiele stellen keine abschließende Auswahl möglicher Ausgestaltungsformen eines erfindungsgemäßen Coriolis-Massendurchflussmessers dar. Andere Kombinationen verschiedener Teilaspekte der in den Ausführungsbeispielen gezeigten Coriolis-Massendurchflussmessgeräte sollen ebenfalls von der vorliegenden Anmeldung mit erfasst sein.

### Patentansprüche

1. Coriolis-Massendurchflussmessgerät (1, 1a, 301, 401, 501, 701, 801, 1101, 1201, 1301, 1401) mit einem in gekoppelten Biege- und Torsionsmoden schwingenden Messrohr (2, 202, 302, 402, 502, 702, 802, 11102, 1202, 1302, 1402), mit einem bezüglich einer Rotationssymmetrieachse drehsymmetrisch ausgebildeten, in Torsionsschwingungen gleicher Frequenz aber entgegengesetzter Phasenlage zu den Torsionsschwingungsmoden des Messrohres (2, 202, 302, 402, 502, 702, 802, 11102, 1202, 1302, 1402) versetzbaren, einlass- und auslassseitig mit dem Messrohr (2, 202, 302, 402, 502, 702, 802, 11102, 1202, 1302, 1402) verbundenen Anbauteil (20, 220, 320, 420, 520, 720, 820, 1120, 1220, 1320, 1420), wobei die Rotationssymmetrieachse des Anbauteils (20, 220, 320, 420, 520, 720, 820, 1120, 1220, 1320, 1420) parallel zu der durch die Mittelpunkte (4a, 6a; 204a, 206a; 304a, 306a; 404a, 406a; 504a, 506a; 1104a, 1106a; 1204a, 1206a; 1304a, 1306a; 1404a, 1406a) der Messstreckeneinlass- und Messstreckenauslassquerschnittsflächen (4, 6; 204, 206; 304, 306; 404, 406; 504, 506; 1104, 1106; 1204, 1206; 1304, 1306; 1404, 1406) festgelegten Geraden (8, 208, 308, 408, 508, 708, 808, 1108, 1208, 1308, 1408) (Zentralachse) verläuft oder mit dieser zusammenfällt, und wobei das Anbauteil (20, 220, 320, 420, 520, 720, 820, 1120, 1220, 1320, 1420) drei drehsymmetrisch bezüglich der Rotationssymmetrieachse ausgebildete Teilabschnitte (22, 24, 26; 222, 224, 226; 322, 324, 326; 422, 424, 426; 522, 524, 526; 722, 724, 726; 822, 824, 826; 1122, 1124, 1126; 1222, 1224, 1226; 1322, 1324, 1326; 1422, 1424, 1426) umfasst, derart, dass zwischen einem ersten und einem zweiten, jeweils als Torsionsfeder wirkenden, einlass- bzw. auslassseitigen Teilabschnitt (22, 24; 222, 224; 322, 324; 422, 424; 529, 529a; 722, 724; 822, 824; 1122, 1124; 1222, 1224; 1322, 1324; 1422, 1424) ein mit diesen verbundener dritter, als träge Masse wirkender Teilabschnitt (26; 226; 326; 426; 527; 726; 826; 1126; 1226; 1326; 1426) angeordnet ist.

2. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das An-

bauteil spiegelsymmetrisch bezüglich einer senkrecht zu der Rotationssymmetrieachse orientierten und die Zentralachse in der Mitte der Messstrecke schneidenden Symmetrieebene ist.

3. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein weiterer Kompensationsteil (1180, 1380) zur Kompensation von Biege- und/oder Torsionskräften an dem Messrohr angebracht ist.

4. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Anbauteil an den einlass- und auslassseitigen Messstreckenenden mit dem Messrohr verbunden ist.

5. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Anbauteil innerhalb der Messstrecke mit dem Messrohr verbunden ist.

6. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass das weitere Kompensationsteil (1180, 1380) innerhalb der Messstrecke an dem Messrohr angebracht ist.

7. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Anbauteil das Messrohr zumindest im Bereich der Messstrecke umhüllt.

8. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Anbauteil außerhalb des Messrohres angeordnet, aber mit diesem verbunden ist.

9. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Massendurchflussmessgerät ein einziges, gerades Messrohr umfasst.

10. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Messrohr ein gebogenes Messrohr umfasst.

11. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Messrohr U- oder S- oder V-förmig gebogen ist.

12. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Übergänge zwischen den Teilabschnitten stufenartig ausgebildet sind.

13. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Übergänge zwischen den Teilabschnit-

ten kontinuierlich ausgebildet sind.

14. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Torsionsflächenmoment des dritten, als träge Masse wirkenden Teilabschnitts betragsmäßig größer ist als die Torsionsflächenmomente der ersten und zweiten, als Drehfeder wirkenden Teilabschnitte.

15. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz und Phasenlage der Torsionsschwingungsmoden des Anbauteils durch das Verhältnis der Beträge der Torsionsflächenmomente des dritten, als träge Masse wirkenden und der ersten und zweiten, als Drehfeder wirkenden Teilabschnitte sowie durch die Lage der Übergänge zwischen den Teilabschnitten einstellbar sind.

16. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Anbauteil in Torsionsschwingungen gleicher Frequenz aber entgegengesetzter Phasenlage zu den Torsionsschwingungen des Messrohres versetzt ist.

17. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Teilabschnitt des Anbauteils ein Hohlkörper ist.

18. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Teilabschnitt des Anbauteils ein dünnwandiger Hohlkörper ist.

19. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass der dünnwandige Hohlkörper ein Hohlzylinder oder ein Hohlquader ist.

20. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens einer der Teilabschnitte des Anbauteils ein mehrteilig zusammengesetzter Körper ist.

21. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass der mehrteilig zusammengesetzte Körper parallel zur Rotationssymmetrieachse verlaufende und an senkrecht zur Messrohrachse verlaufenden Platten gehaltene, längserstreckte Bauelemente umfasst.

22. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die längserstreckten Bauelemente Profilschienen sind.

23. Coriolis-Massendurchflussmesser nach An-



spruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass die längserstreckten Bauelemente Hohlkörper sind.

24. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die einlassseitigen und auslassseitigen Teilabschnitte je einen mittels radialer, längserstreckter Verbindungselemente an dem Messrohr angebrachten Kreisring und der mittlere Teilabschnitt einen steifen Verbindungskörper umfassen.

25. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass der steife Verbindungskörper ein Hohlkörper ist.

26. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass der Hohlkörper ein Hohlzylinder ist.

27. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass der Hohlkörper ein Hohlquader ist.

28. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass der steife Verbindungskörper ein mehrteilig zusammengesetzter Körper ist.

29. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass der steife Verbindungskörper parallel zur Rotationssymmetrieachse verlaufende längserstreckte Bauelemente umfasst.

30. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass die längserstreckten Bauelemente Profilschienen oder Balken oder Stäbe sind.

31. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass die längserstreckten Bauelemente Hohlkörper sind.

32. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der Ansprüche 24 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Torsionsschwingungseigenschaften des Anbauteils über die Dimensionierung der längserstreckten Verbindungselemente einstellbar sind.

33. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Erregeranordnung an dem Anbauteil angebracht ist.

34. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Sensoren zur Schwingungserfassung an dem Anbauteil angebracht sind.

35. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass an dem Anbauteil Justierelemente zur nachträglichen Trimmung angebracht sind.

36. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Anbauteil (520) je eine erste, einlassseitig und eine zweite, auslassseitig an dem Messrohr angebrachte starre Platte (522, 524) umfasst, die mittels eines tordierbaren Verbindungskörpers (526) miteinander verbunden sind.

37. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, dass der tordierbare Verbindungskörper (526) ein Hohlkörper ist.

38. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, dass der Hohlkörper ein Hohlzylinder oder ein Hohlquader ist.

39. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, dass der tordierbare Verbindungskörper (526) ein mehrteilig zusammengesetzter Körper ist.

40. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, dass der tordierbare Verbindungskörper aus parallel zur Messrohrachse verlaufenden längserstreckten Bauelementen gebildet ist.

41. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass die längserstreckten Bauelemente Profilschienen oder Balken oder Stäbe sind.

42. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass die längserstreckten Bauelemente Hohlkörper sind.

43. Coriolis-Massendurchflussmessgerät (601) mit einem in gekoppelten Biege- und Torsionsmoden schwingenden Messrohr (602), mit wenigstens zwei bezüglich einer gemeinsamen Rotationssymmetrieachse (608) drehsymmetrisch ausgebildeten, in Torsionsschwingungen gleicher Frequenz aber entgegengesetzter Phasenlage zu den Torsionsschwingungsmoden des Messrohres (601) versetzbaren und mechanisch mit dem Messrohr (601) verbundenen Anbauteilen (625, 627), wobei die gemeinsame Rotationssymmetrieachse der Anbauteile (625, 627) parallel zu der durch die Mittelpunkte der Messstreckeneinlass- und Messstreckenauslassquerschnittsflächen festgelegten Geraden (Zentralachse) verläuft oder mit dieser zusammenfällt und die Anbauteile (625, 627) kreisringartig ausgeführt und mittels radialer, längserstreckter Verbindungselemente (623) an dem Messrohr (602) angebracht sind.



44. Coriolis-Massendurchflussmessgerät (601) nach Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet, dass die längserstreckten Verbindungselemente (623) Stäbe, Balken oder Rohre sind.

45. Coriolis-Massendurchflussmessgerät (601) nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, dass die Torsionsschwingungseigenschaften des einlass- bzw. auslassseitigen Anbauteils (625, 627) über die Dimensionierung der längserstreckten Verbindungselemente (623) einstellbar sind.

46. Coriolis-Massendurchflussmessgerät (1001) mit einem in gekoppelten Biege- und Torsionsmoden schwingenden Messrohr (1002), mit wenigstens zwei bezüglich einer gemeinsamen Rotationssymmetrieachse dreh-symmetrisch ausgebildeten, in Torsionsschwingungen gleicher Frequenz aber entgegengesetzter Phasenlage zu den Torsionsschwingungsmoden des Messrohres versetzbaren und mechanisch mit dem Messrohr verbundenen Anbauteilen (1023, 1023', 1023a, 1023a'), wobei die Anbauteile Paare längserstreckter Elemente (1023/1023'), (1023a/1023a') sind.

47. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das weitere Kompensationsteil ein exzentrisch bezüglich der Zentralachse angebrachter, steifer Trog (1180, 1380) oder ein Kompensationsrohr ist.

48. Coriolis-Massendurchflussmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 46, dadurch gekennzeichnet, dass exzentrisch bezüglich der Zentralachse angebrachte Auslegermassen (1480a, 1480b, 1480c, 1480d) als weitere Kompensationsteile an dem Messrohr angebracht sind

Es folgen 14 Blatt Zeichnungen

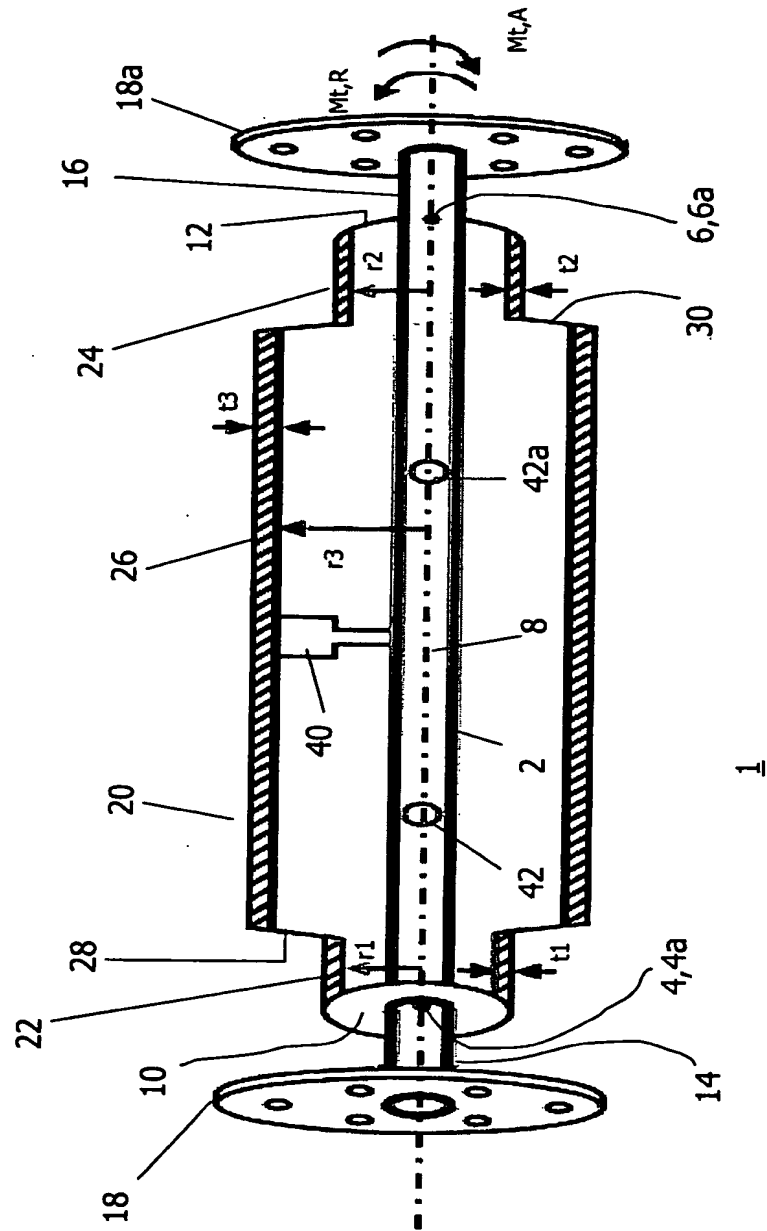
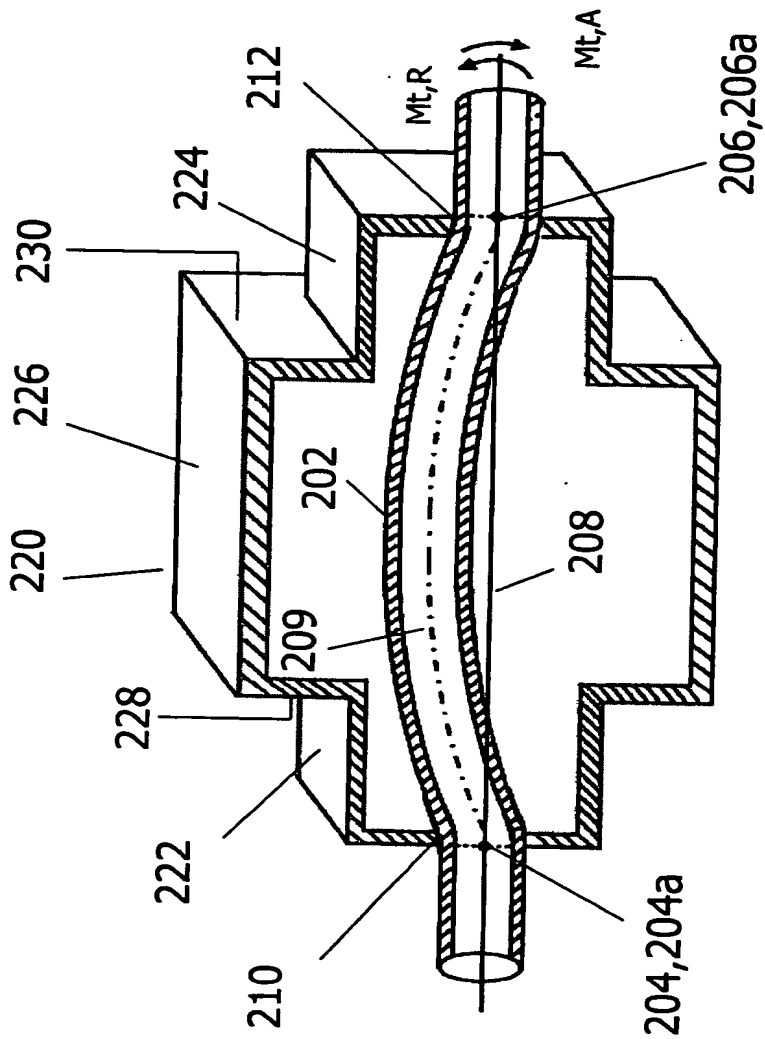


Fig. 1



1a

Fig. 2

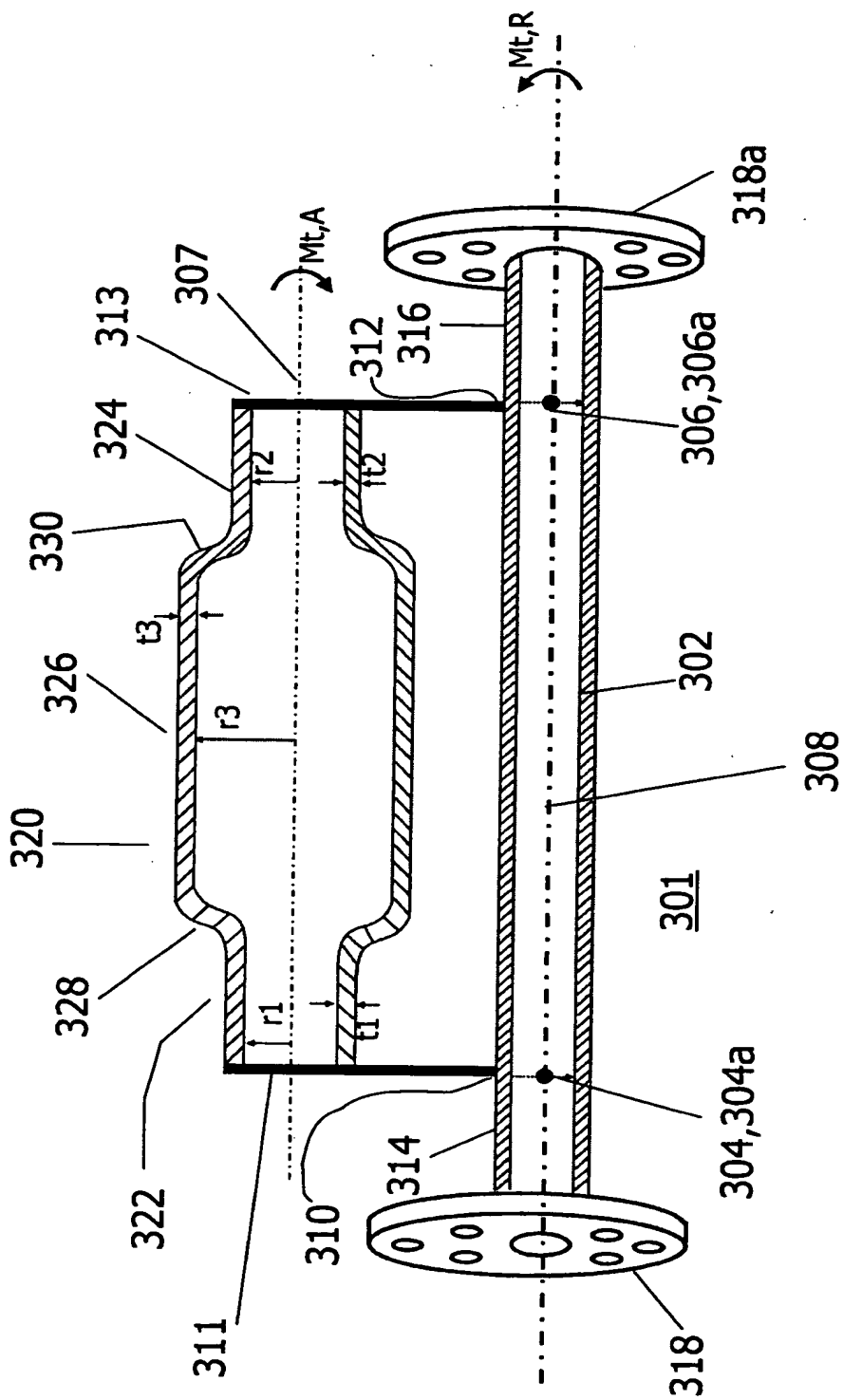


Fig.3

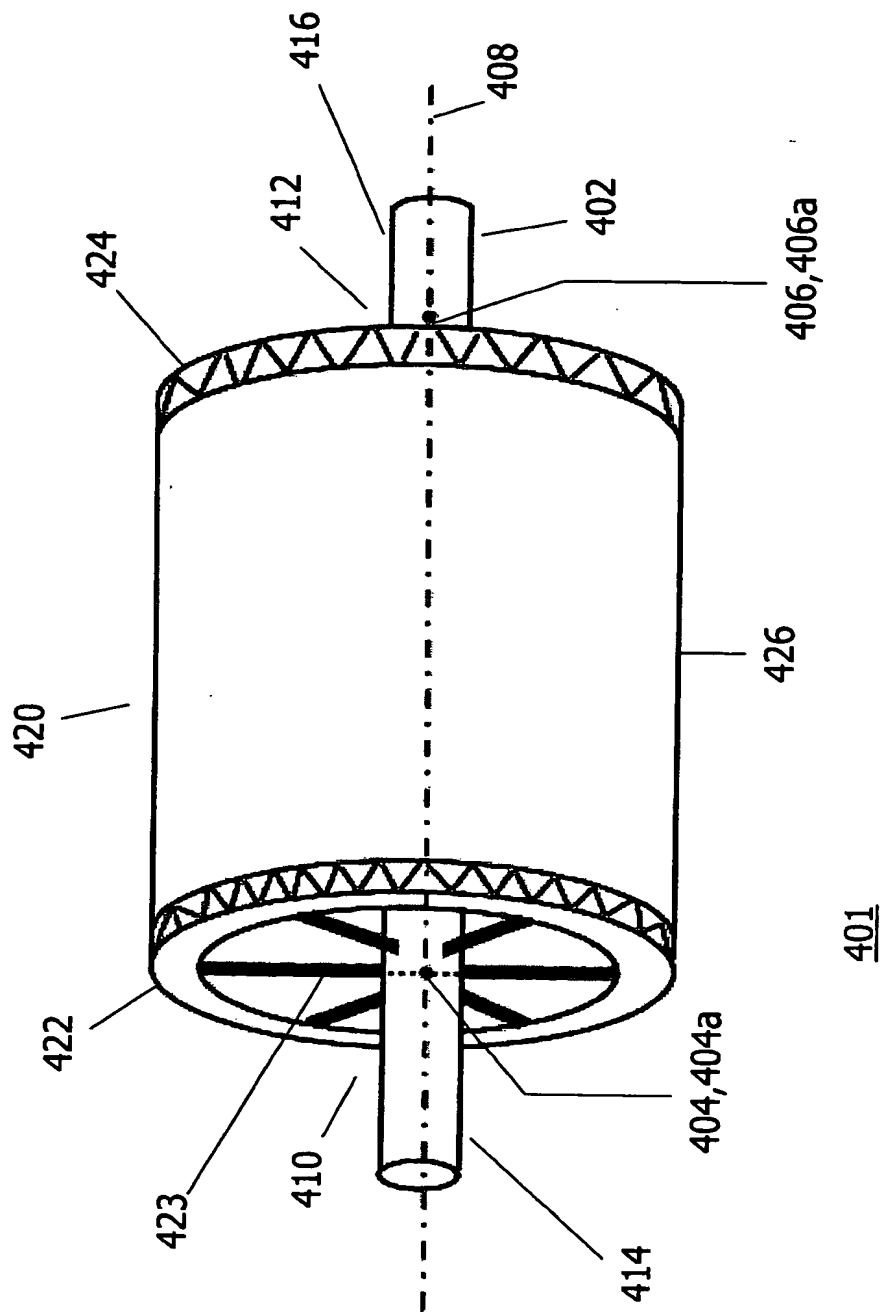


Fig. 4

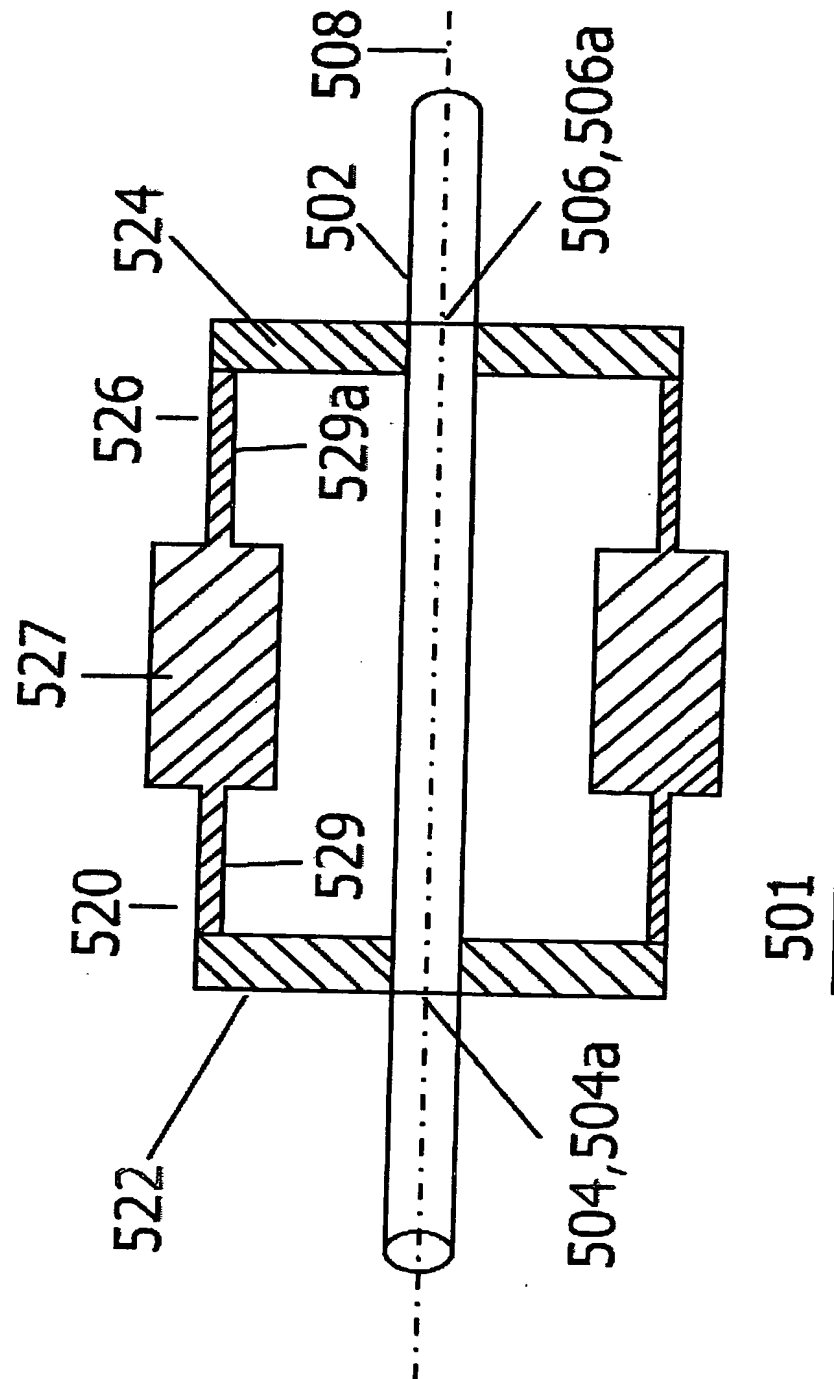


Fig. 5

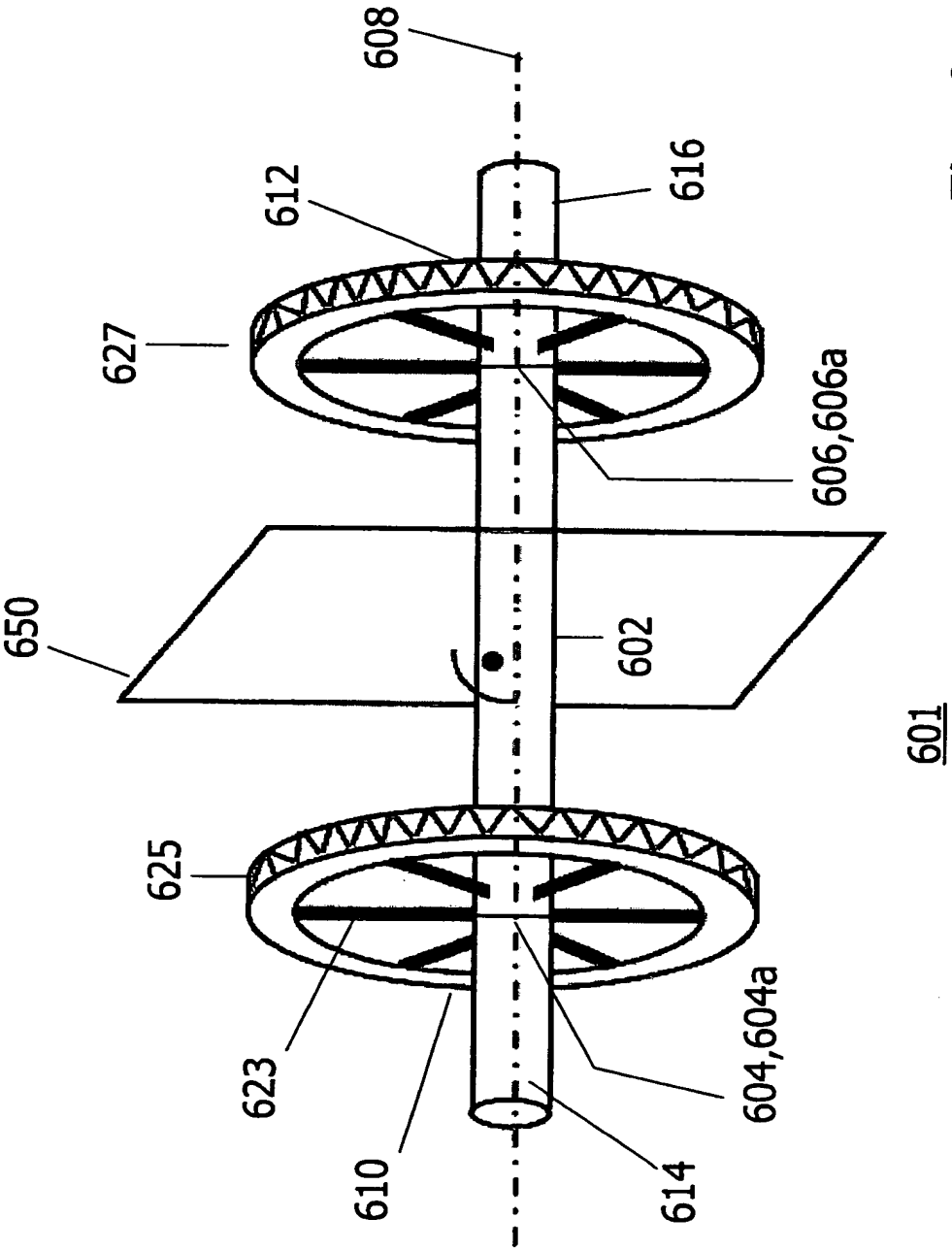


Fig. 6

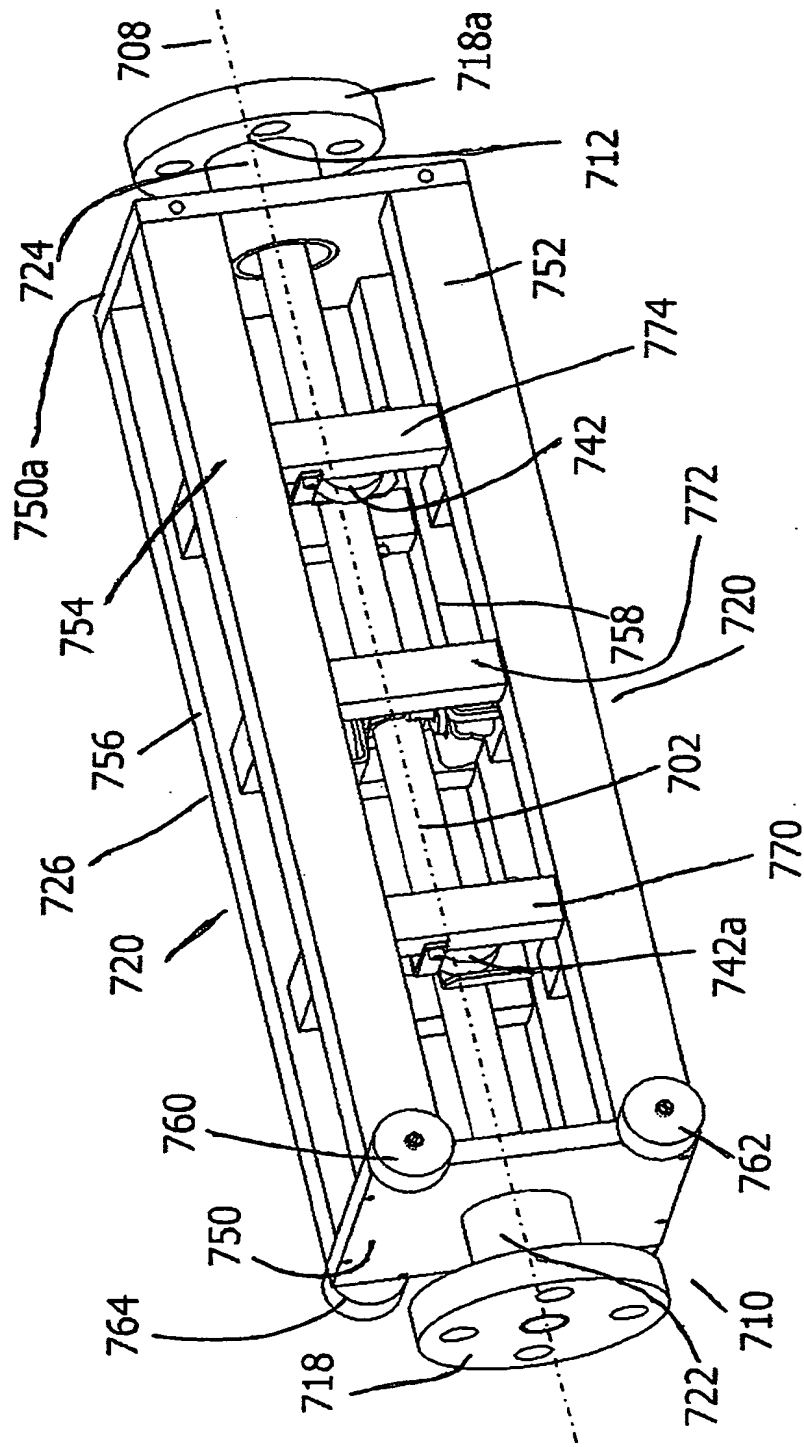


Fig. 7

701



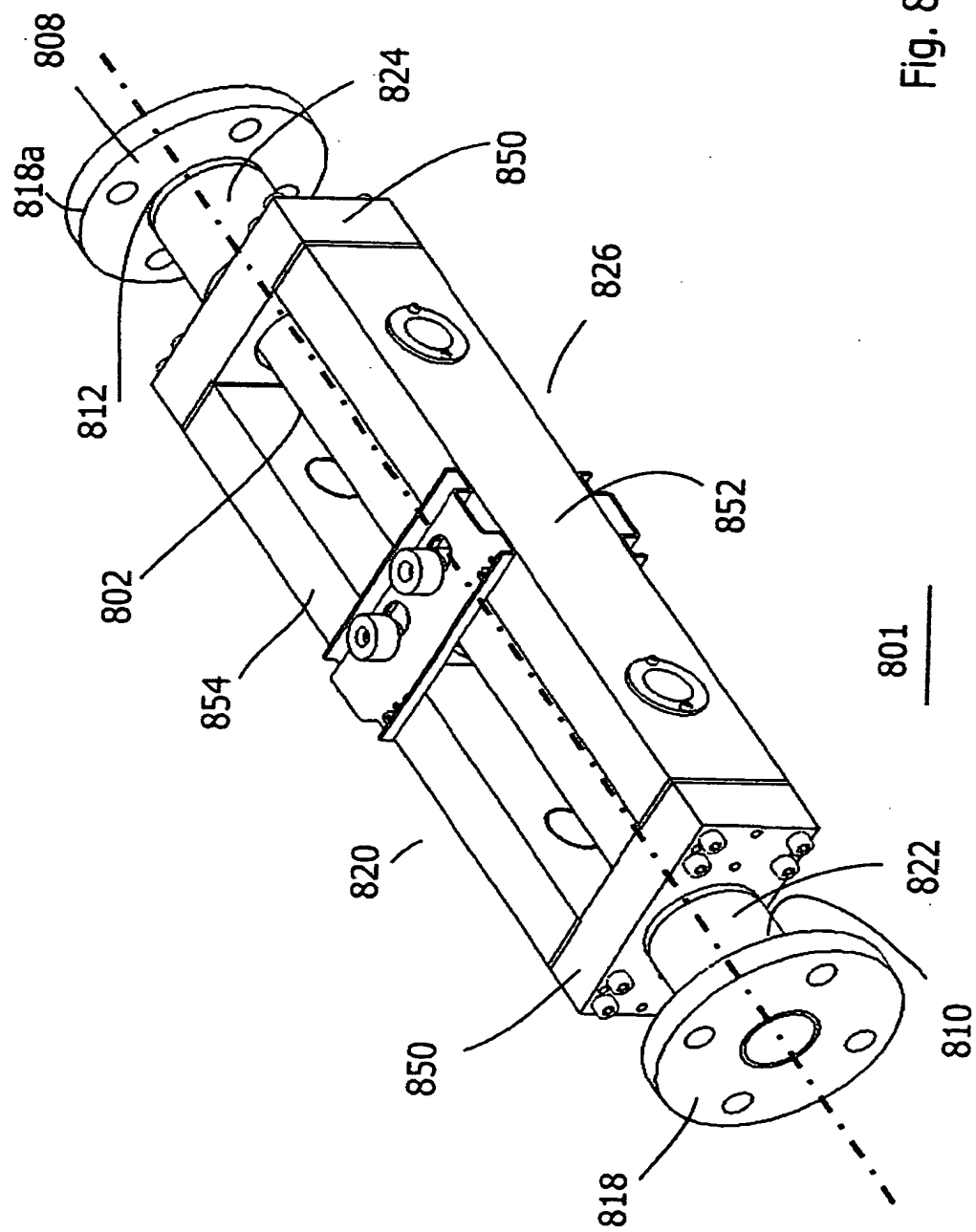


Fig. 8

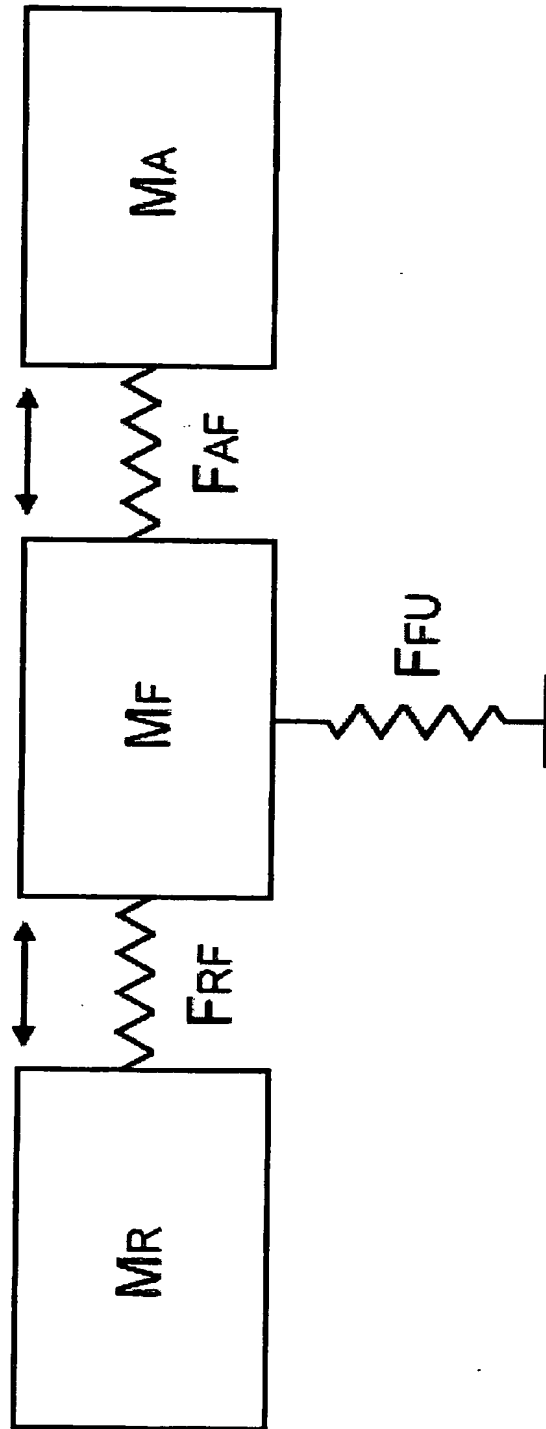


Fig. 9

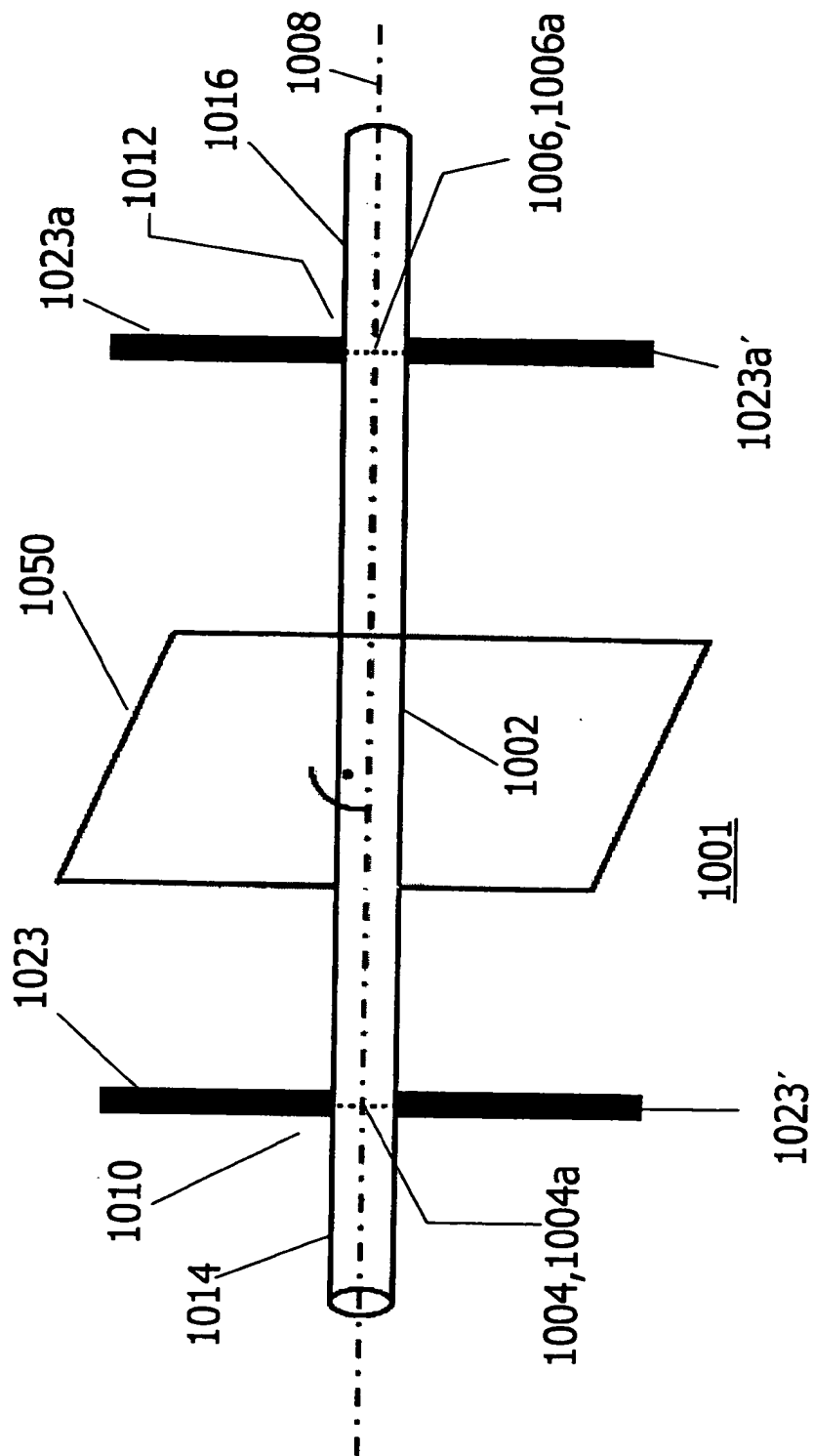
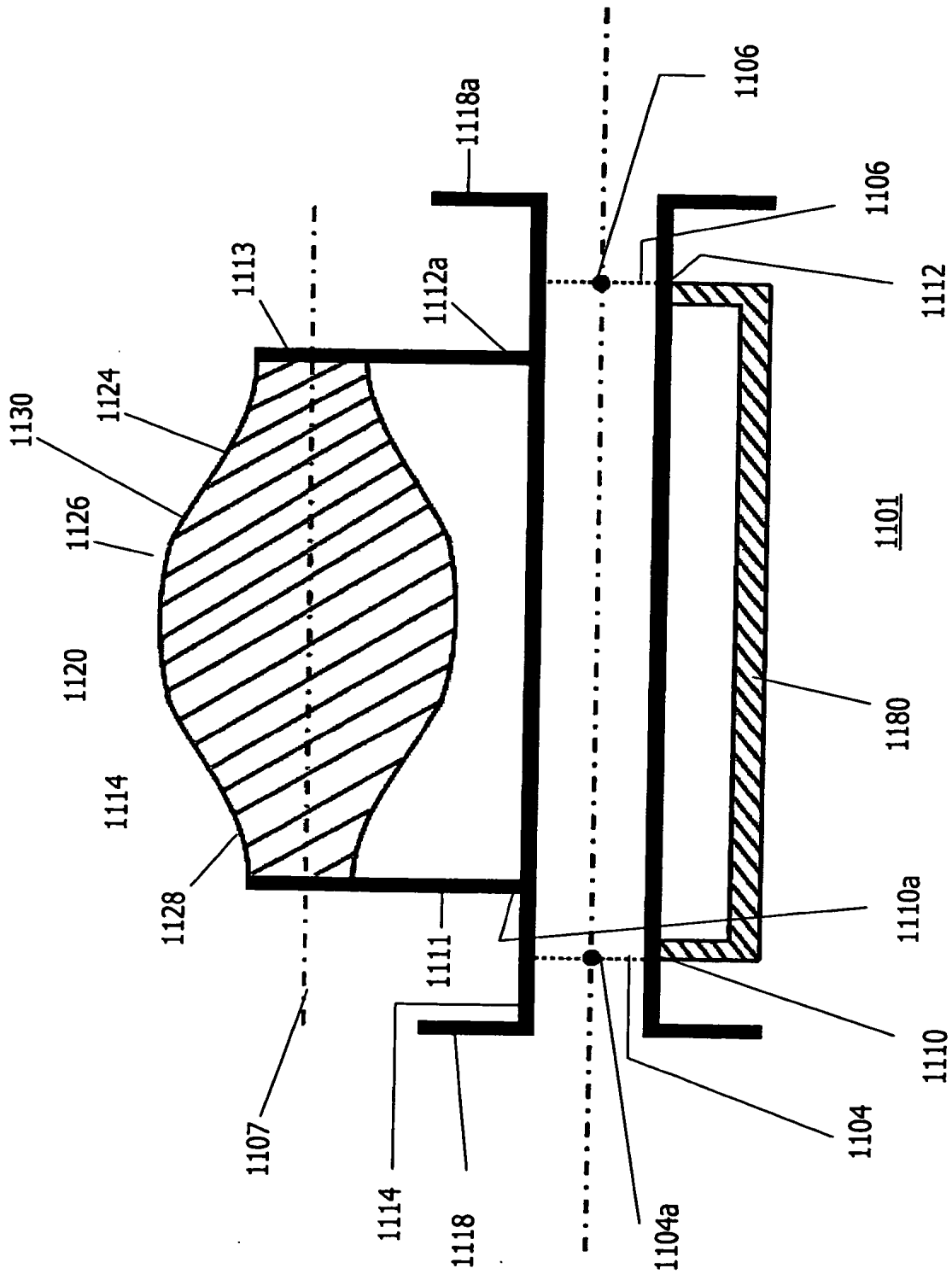
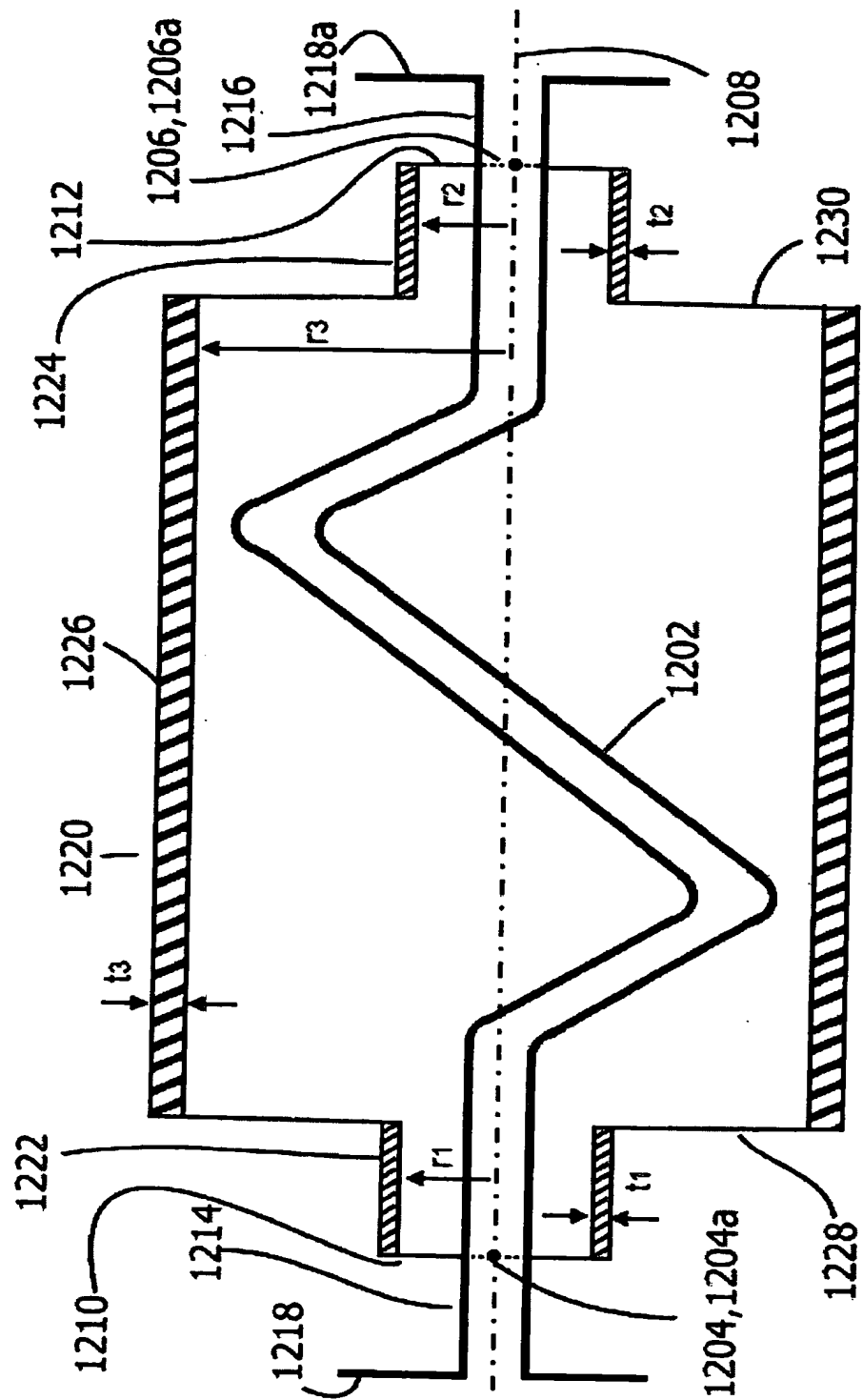


Fig. 10



**Fig. 11**



1201

Fig. 12

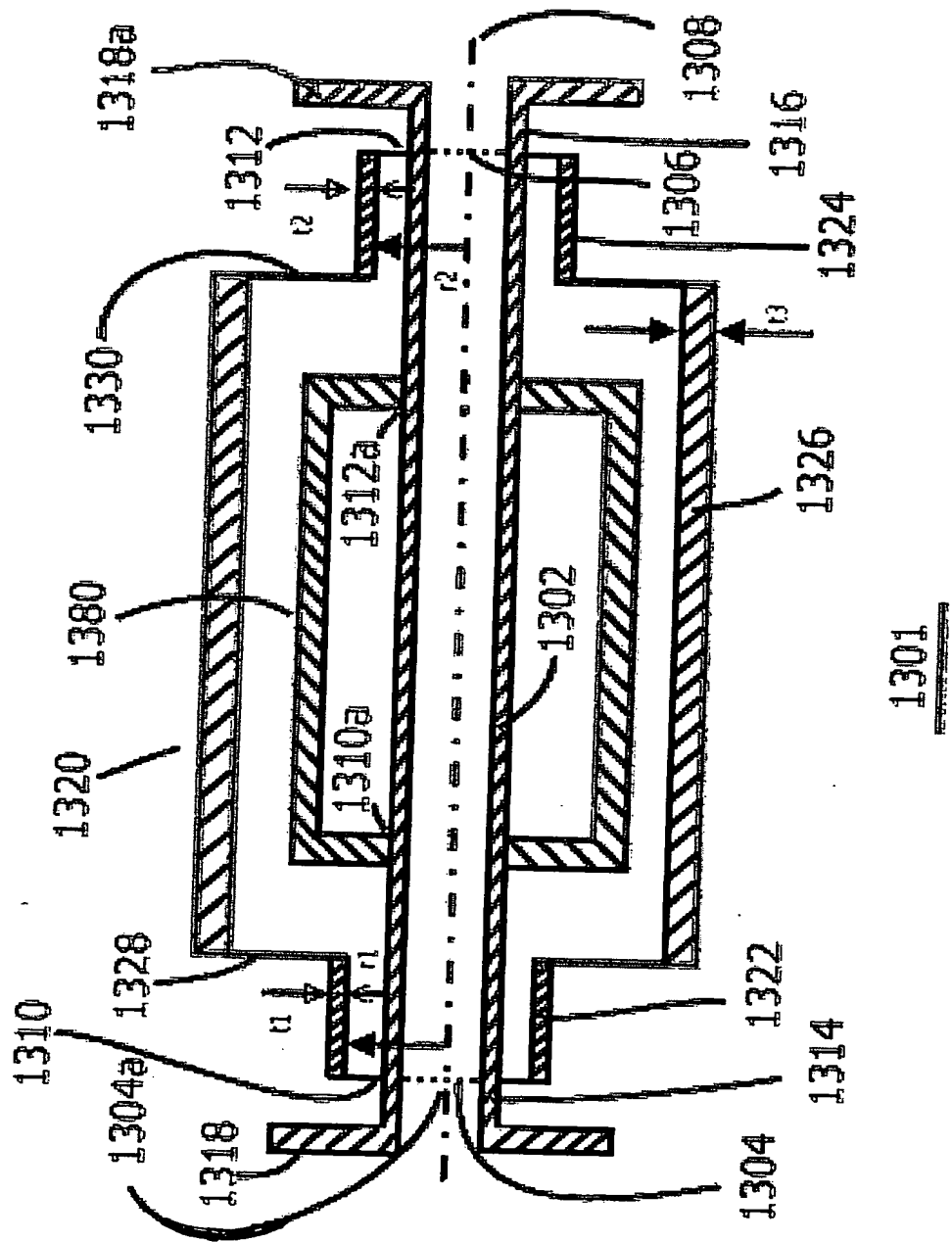
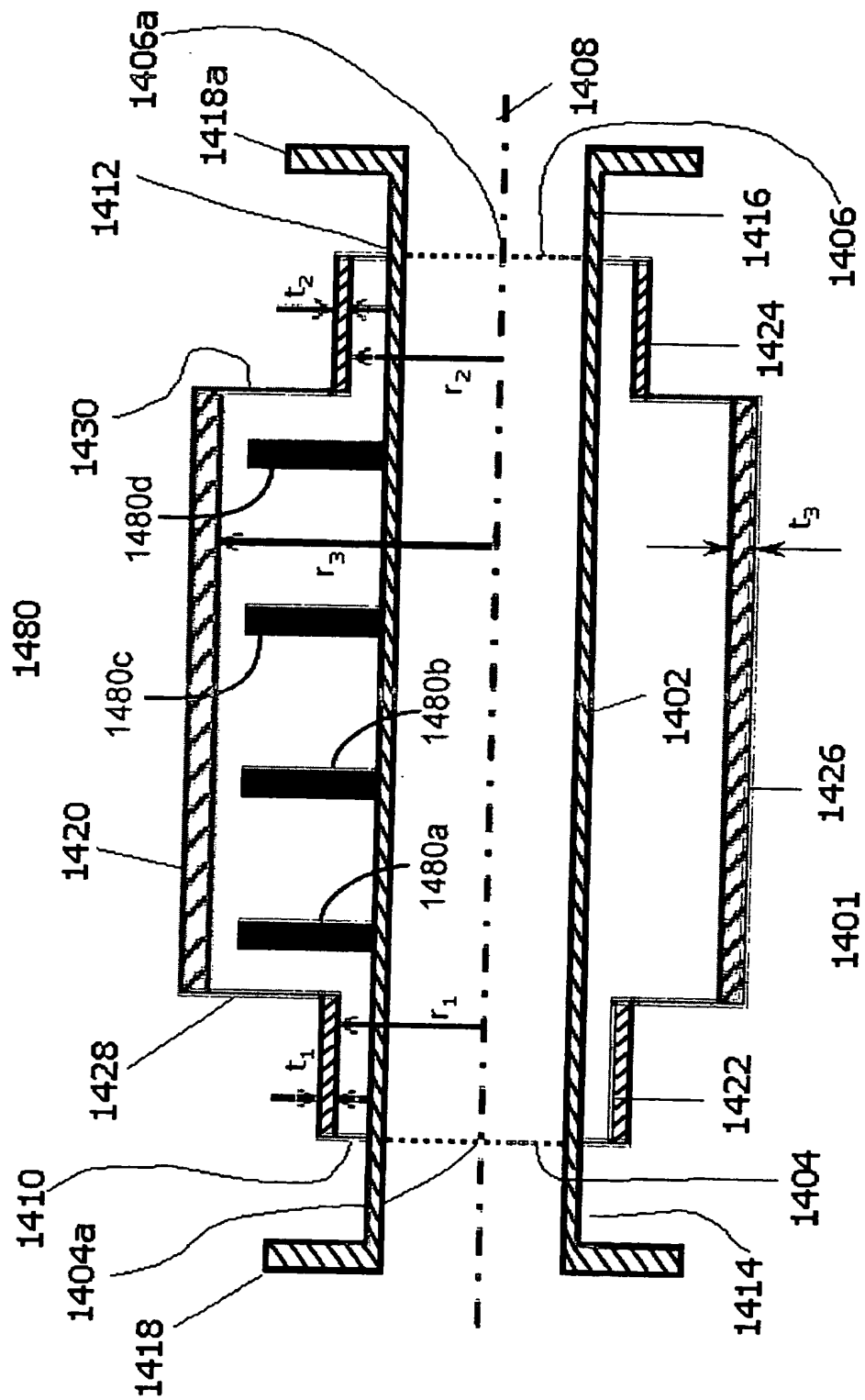


Fig. 13



**Fig. 14**